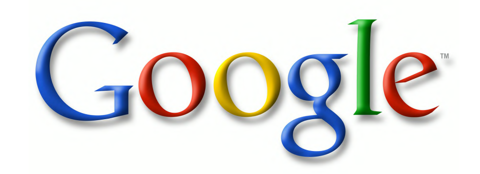
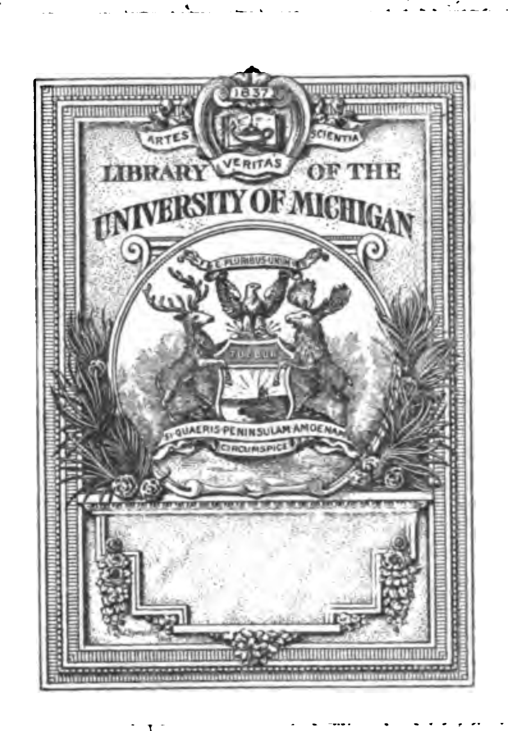



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mittheilungen aus dem gesammten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

E. Abbe in Jena, **Fr. Arzberger** in Wien, **S. Czapski** in Jena, **W. Foerster** in Berlin, **R. Fuess** in Berlin, **E. Hammer** in Stuttgart, **H. Kronecker** in Bern, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Landolt** in Berlin, **V. v. Lang** in Wien, **S. v. Merz** in München, **G. Neumayer** in Hamburg, **A. Raps** in Berlin, **J. A. Repsold** in Hamburg, **A. Rueprecht** in Wien, **A. Westphal** in Berlin.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

Zweiundzwanzigster Jahrgang 1902.

Mit Beiblatt: Deutsche Mechaniker-Zeitung.



Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1902.

Inhaltsverzeichniss.

Referate.

Seite

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt,** Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal,** geschäftsführendes Mitglied,
Prof. Dr. **E. Abbe,** Dr. **H. Krüss.**

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Januar 1902.** Erstes Heft.

Theoretische Bestimmung des Achsenfehlers von Krystallplatten.

Von
Dr. **Otto Schönrock.**
(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

1. Einleitung.

Unter Achsenfehler einer planparallelen, einachsigen, nahezu senkrecht zur Achse geschliffenen Krystallplatte soll der Winkel verstanden werden, welchen die optische Achse der Platte mit der Plattennormale bildet. Bekanntlich sollen die in der Saccharimetrie viel gebrauchten Quarzplatten senkrecht zur Achse geschliffen sein, was aber natürlich immer nur angenähert möglich ist. Sie werden eben in dieser Hinsicht stets mehr oder minder *fehlerhaft* geschliffen sein, und aus diesem Grunde ist für den obigen Winkel die Bezeichnung „Achsenfehler" gewählt worden.

Die Mechaniker prüfen derartige Quarzplatten auf Achsenfehler mit dem Nörrenberg'schen Polarisationsmikroskop entweder durch Beobachtung der Airy'schen Spiralen oder in der Weise, dass sie das Kreisen der Ringfiguren beim Drehen der Quarzplatten in ihrer Ebene beobachten. Auf demselben Prinzip wie das letztere beruht das Verfahren von Gumlich[1]), jedoch mit dem Unterschiede, dass er das Gesichtsfeld auf einen kleinen, nur von wenigen Interferenzstreifen durchzogenen Theil der Ringfigur beschränkt und dann das Wandern eines dieser Streifen beim Drehen der Platte in ihrer Ebene messend verfolgt hat.

Nach dieser Methode wird die seit 1898 unter die laufenden Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt aufgenommene Untersuchung von Quarzplatten, die zur Prüfung von Saccharimetern dienen, ausgeführt. Da jedoch die Gumlich'sche Versuchsanordnung nur bei Quarzplatten von mehr als 1 *mm* Dicke die Ermittelung des Achsenfehlers bis auf etwa eine Minute genau gestattet, für die Saccharimetrie aber Platten von 1,6 bis 0,3 *mm* Dicke in Frage kommen, so ist für die Benutzung der Gumlich'schen Methode von Brodhun und mir ein Apparat konstruirt worden, der es erlaubt, die Achsenfehler selbst von 0,3 *mm* dicken Platten sicher und schnell bis auf einige Sekunden genau zu bestimmen. Dieser Apparat wird demnächst zusammen mit den übrigen, in der Reichsanstalt für die Untersuchung von Quarzplatten auf Planparallelismus und optische Reinheit verwendeten Instrumenten beschrieben werden.

Zur Berechnung des Achsenfehlers aus Messungsergebnissen, die nach der gedachten Methode gewonnen werden, existirte bisher keine genaue Formel in geschlossener Form. Es ist jedoch möglich, auf mathematisch strengem Wege zu einer

[1]) Gumlich, *Wissensch. Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt* **2.** *S. 212. 1895.*

solchen zu gelangen. Die Ableitung dieser geschlossenen Formel, welche sich zugleich durch eine grosse Einfachheit auszeichnet, soll im Nachstehenden gegeben werden.

2. Bestimmungsmethode.

Wird eine zur Achse vollkommen senkrecht geschnittene Krystallplatte zwischen zwei gekreuzte Nicols gebracht, so erblickt man bekanntlich in einem auf Unendlich gestellten Fernrohr von genügend grossem Gesichtsfeld bei homogenem Licht die in Fig. 1 schematisch dargestellte Interferenzerscheinung. Die Theorie lehrt, dass die gezeichneten Ringe genau kreisförmig und auf dem ganzen Umfang vollkommen dunkel sind, und dass die Balken des vollkommen dunklen Kreuzes den beiden Polarisationsebenen der gekreuzten Nicols entsprechen. Die Helligkeit nimmt von der Mitte A nach B allmählich zu, von B nach C wieder ab u. s. f. Die Helligkeit ein und desselben hellen Ringes ist in E, in 45° Abstand von den Hauptschnitten der Nicols, ein Maximum und nimmt von hier aus nach D und F, nach den Armen des Kreuzes zu, allmählich ab. Die dunklen Ringe werden daher für das Auge in 45° Abstand von den Balken des Kreuzes am schmalsten und schärfsten erscheinen und nach den Armen des Kreuzes zu mehr und mehr verschwommen aussehen.

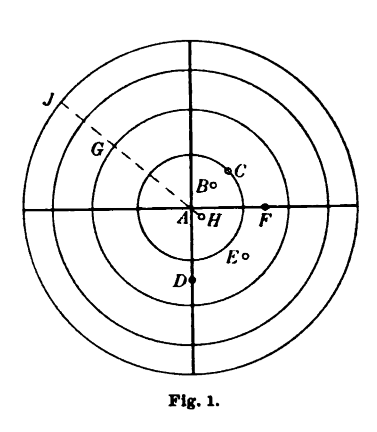


Fig. 1.

Besitzt die Krystallplatte Zirkularpolarisation, wie z. B. der Quarz, so erscheint im Allgemeinen die Mitte und ihre unmittelbare Nachbarschaft nicht mehr vollkommen dunkel, sondern aufgehellt. Die Untersuchungen von v. Lang[1]) am Quarz zeigen indessen, dass er sich in allen Richtungen, die gegen die optische Achse mehr als um 5° geneigt sind, praktisch bereits wie ein gewöhnlicher optisch einachsiger Krystall verhält.

Lässt man nunmehr die Krystallplatte um die Plattennormale rotiren, so wird die Ringfigur im Fernrohr unverändert und still stehen bleiben, wenn die optische Achse der Platte mit der Plattennormale zusammenfällt. Sobald aber letztere beide einen kleinen Winkel einschliessen, beschreibt die Krystallachse bei der Drehung einen Kegelmantel, und die Folge ist, dass die auch dann noch sehr angenähert kreisförmigen Ringe beim Drehen der Krystallplatte kreisen werden.

3. Bestimmung des Achsenfehlers durch Beobachtung des Zentrums der Ringfigur.

Wir wollen die Lage und das Wandern des Schnittpunktes des schwarzen Kreuzes näher betrachten.

Es sei A (Fig. 2) der Mittelpunkt des Fernrohrobjektivs und B der im Brennpunkt des letzteren befindliche Schnittpunkt eines Fadenkreuzes, dann ist die Gerade BAC die Sehlinie des Objektivs, zu der die Krystallplatte D senkrecht gestellt sein möge. EF sei die optische Achse und bilde mit der Plattennormale FG den Achsenfehler ν. Dann werden alle Strahlen, die die Platte in Richtung der Achse durchsetzen und das Objektiv treffen, im Punkte Q vereinigt, und es ist Q der Schnittpunkt des schwarzen Kreuzes der Interferenzfigur. Wird nun die Platte in ihrer Ebene

[1]) v. Lang, *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien.* **60,** *IIa. S. 767. 1869.*

(um eine Parallele zu FG) gedreht, so wird Q in der Brennebene QJ um B als Mittelpunkt einen Kreis beschreiben. Ist $b = BQ$ der leicht messbare Radius dieses Kreises, $f = AB$ die Brennweite des Objektivs, n_o der ordentliche Brechungsexponent der Platte für das verwendete homogene Licht, so ist

$$\frac{\sin BAQ}{\sin \nu} = n_o$$

$$tg\, BAQ = \frac{b}{f}$$

und, da ν klein ist,

$$\nu = \frac{b}{f n_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Diese einfache Bestimmungsmethode von ν ist für zirkularpolarisirende Krystalle nicht verwendbar, da hier das dunkle Kreuz Q fehlt. Man muss in diesem Falle das Wandern eines Ringes messend verfolgen. Definiren wir z. B. den Punkt G (Fig. 1) als den Schnittpunkt des um H herumwandernden schwarzen Interferenzringes mit dem einen Arm HJ des Fadenkreuzes (H ist der Schnittpunkt des Fadenkreuzes), so wird G in der Richtung HJ hin- und herwandern, aber nun nicht mehr genau um die Strecke $2\,b$, da die Ringe nicht mehr vollkommen kreisförmig sind. Diese neue messbare Strecke ist nun als Funktion von ν darzustellen.

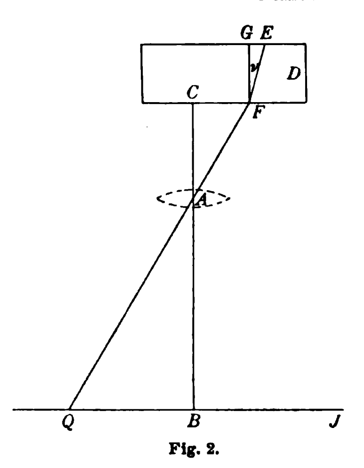


Fig. 2.

Es lässt sich übersehen, dass der Punkt G in Fig. 1 die beiden extremen Lagen einnimmt, wenn A auf HJ oder dessen Verlängerung zu liegen kommt. Berücksichtigt man nach Fig. 2 die Thatsache, dass die optische Achse stets in der Einfallsebene der vom Schnittpunkt des schwarzen Kreuzes ausgehenden Strahlen liegt, so ergiebt sich, dass, wenn der Punkt G in Fig. 1 die extremen Lagen einnimmt, die optische Achse in der Einfallsebene der Strahlen von G liegt.

Um uns eine Anschauung von den Grössenverhältnissen von b und dem Radius des Interferenzringes zu verschaffen, nehmen wir als Beispiel eine 5 *mm* dicke Quarzplatte mit $\nu = 30'$ und ein Objektiv mit $f = 40$ *mm*. Dann ist b ungefähr gleich 0,5 *mm*, während der Radius des innersten dunklen Interferenzringes bereits ungefähr 6 *mm* beträgt, indem der Einfallswinkel der zugehörigen Strahlen etwa 9° beträgt.

4. Festhalten des Interferenzstreifens im Gesichtsfeld.

Man kann jeden beliebigen Punkt der Interferenzfigur in das Gesichtsfeld des Fernrohrs bringen, wenn man die Krystallplatte in richtiger Weise gegen die Sehlinie des Objektivs neigt. Es sei in Fig. 3 BAC die Sehlinie und CG die Normale der Platte D, dann erhält man in B die Interferenzerscheinung, die früher bei zur Sehlinie senkrecht gestellter Platte die unter dem Einfallswinkel $\varphi = \measuredangle BCG$ kommenden Strahlen gaben. Wir wollen φ den Haupteinfallswinkel des Lichtes nennen. Lässt man mithin φ von Null aus wachsen, indem man die Platte um die Vertikale zur Haupteinfallsebene dreht, so werden in einem kleinen Gesichtsfeld um B schwarze, zur Haupteinfallsebene senkrechte Interferenzstreifen vorbeiwandern, die Stücke von den Interferenzringen sind.

In der Haupteinfallsebene liegt nun auch der Punkt, um den sich die Interferenzringe drehen beim Drehen der Platte in ihrer Ebene; es ist dies der Punkt L,

1*

wenn KAL parallel der Plattennormale CG ist. Bringt man daher den einen Arm des Fadenkreuzes in die Lage BL, d. h. in die Haupteinfallsebene, so handelt es sich wieder um die Bestimmung der Strecke, um welche der Schnittpunkt J eines Interferenzstreifens mit BL hin und her wandert, wenn (bei konstant gelassenem φ) die Platte in ihrer Ebene, d. h. um CG gedreht wird. Nach Abschnitt 3 erhalten wir die extremen Lagen des Schnittpunktes die beiden Male, wo die optische Krystallachse in der Haupteinfallsebene liegt.

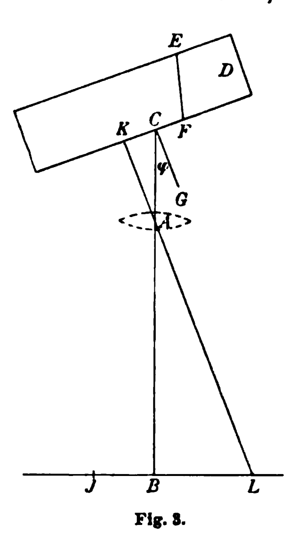


Fig. 3.

Ist EF die optische Achse, so wird J beim Weiterdrehen der Platte in ihrer Ebene zunächst nach L zu, d. i. nach rechts, wandern, wie nach Abschnitt 3 leicht ersichtlich ist. Somit ist nach Kenntniss von ν die Richtung der optischen Achse in der Krystallplatte vollkommen festgelegt.

Da nach Abschnitt 2 die Ringe in 45° Abstand von den Balken des Kreuzes am schärfsten erscheinen, so empfiehlt es sich, die beiden Nicols so zu justiren, dass ihre Polarisationsebenen mit der Haupteinfallsebene Winkel von 45° bilden.

Mit wachsendem φ wandern die Interferenzstreifen im Gesichtsfeld bei der in Fig. 3 gewählten Lage der Platte von links nach rechts. Es stehe ein Interferenzstreifen gerade in B, wenn der Haupteinfallswinkel φ_1 ist. Wird dieser auf φ_3 vergrössert, so wandert der Streifen von B nach rechts um eine Strecke g, und es ist

$$tg\,(\varphi_3 - \varphi_1) = g/f$$
$$g = f \cdot tg\,(\varphi_3 - \varphi_1) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Der in B befindliche Interferenzstreifen wandere jetzt um g nach rechts, wenn die Platte um 180° in ihrer Ebene gedreht wird. Durch Kleinermachen von φ_1 kann dann der Streifen genau nach B zurückgebracht werden. Ist der nunmehrige Haupteinfallswinkel φ_2, so ist nach Gl. 2)

$$g = f \cdot tg\,(\varphi_1 - \varphi_2) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

In Worten ausgedrückt heisst dies: statt die Strecke g zu messen, um welche der Streifen hin und her wandert, kann man denselben auch durch gleichzeitiges Drehen der Platte um die zur Haupteinfallsebene Vertikale im Schnittpunkt des Fadenkreuzes festhalten und die Grösse $\varphi_1 - \varphi_2$ bestimmen, wo φ_1 und φ_2 die beiden Grenzwerthe des Haupteinfallswinkels sind. Unsere Aufgabe besteht jetzt also darin, eine Beziehung zwischen ν und $\varphi_1 - \varphi_2$ zu finden.

Diese Beziehung ist eine sehr einfache, falls der Schnittpunkt des schwarzen Kreuzes der Interferenzfigur beobachtet wird, der, wie wir im Abschnitt 3 gesehen haben, einen Kreis beschreibt, wenn die Platte in ihrer Ebene gedreht wird. Man hält in diesem Falle den Schnittpunkt des Interferenzkreuzes stets auf einem durch B senkrecht zur Haupteinfallsebene gehenden Faden fest, auf dem er sich dann nach oben und unten bewegt. Wie leicht ersichtlich, ist nun $g = 2\,b$ und daher nach den Gl. 1) und 3)

$$\nu = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2\,n_0} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 4)$$

Uebrigens ergiebt sich diese Gleichung ohne Weiteres nach Fig. 2 aus der Beziehung

$$\nu = \frac{\measuredangle\, BAQ}{n_0}.$$

Natürlich ist für diesen Fall der mittlere Haupteinfallswinkel

$$\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = 0.$$

5. Berechnung der Phasendifferenz.

In Fig. 4 sei BAC die Sehlinie, GCM die Normale der Platte D und CE ihre optische Achse. Herrscht in B vollkommene Dunkelheit, so ist der Haupteinfallswinkel $BCG = \varphi_1$. In Richtung der Sehlinie fallen auf das Objektiv Strahlen, die theils als ordentliche, theils als ausserordentliche durch die Platte gegangen sind, und die dann in B zur Interferenz kommen. Da die Schwingungsphasen der Strahlen die gleichen sind wie diejenigen der zu ihrer Bestimmung dienenden tangirenden Wellenebenen oder ihrer Normalen, so genügt es, die Phasendifferenz dieser letzteren zu bestimmen. In unserem Falle bildet nur der ausserordentliche Strahl mit der zugehörigen Normale einen von Null verschiedenen Winkel.

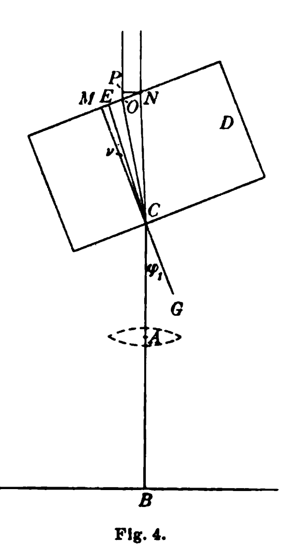


Fig. 4.

Es sei daher CN die ordentliche, CO die ausserordentliche gebrochene Wellennormale, herrührend von der einfallenden Wellenebene NP. Ist dann v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle in Luft, a die Geschwindigkeit der ordentlichen, e_1 die der ausserordentlichen Welle und T die Schwingungsdauer des benutzten Lichtes, so ist die Phasendifferenz δ

$$\delta = \frac{2\pi}{T}\left(\frac{CO}{e_1} + \frac{OP}{v} - \frac{CN}{a}\right).$$

Ist $CM = d$ die Dicke der Platte, und bezeichnet man mit φ_{o_1} und φ_{e_1} die Brechungswinkel der in der Platte fortschreitenden ordentlichen und ausserordentlichen Welle, so ist

$$CO = \frac{d}{\cos\varphi_{e_1}} \qquad CN = \frac{d}{\cos\varphi_{o_1}} \qquad OP = d\sin\varphi_1\,(tg\,\varphi_{o_1} - tg\,\varphi_{e_1}).$$

Berücksichtigt man endlich noch, dass

$$\frac{\sin\varphi_1}{v} = \frac{\sin\varphi_{o_1}}{a} = \frac{\sin\varphi_{e_1}}{e_1} \quad \dots\dots\dots \quad 5)$$

ist, so ergiebt sich hieraus

$$\delta = \frac{2\pi d}{T}\left(\frac{1}{e_1\cos\varphi_{e_1}} + \frac{\sin\varphi_1\,(tg\,\varphi_{o_1} - tg\,\varphi_{e_1})}{v} - \frac{1}{a\cos\varphi_{o_1}}\right)$$

$$\delta = \frac{2\pi d}{T}\left(\frac{1}{e_1\cos\varphi_{e_1}} + \frac{\sin\varphi_{o_1}}{a}\,\frac{\sin\varphi_{o_1}}{\cos\varphi_{o_1}} - \frac{\sin\varphi_{e_1}}{e_1}\,\frac{\sin\varphi_{e_1}}{\cos\varphi_{e_1}} - \frac{1}{a\cos\varphi_{o_1}}\right)$$

$$\delta = \frac{2\pi d}{T}\left(\frac{1-\sin^2\varphi_{e_1}}{e_1\cos\varphi_{e_1}} - \frac{1-\sin^2\varphi_{o_1}}{a\cos\varphi_{o_1}}\right)$$

$$\delta = \frac{2\pi d}{T}\left(\frac{\cos\varphi_{e_1}}{e_1} - \frac{\cos\varphi_{o_1}}{a}\right). \quad \dots\dots\dots \quad 6)$$

Da die Nicols gekreuzt sind, ist $\delta = 2m\pi$, wo m eine beliebige ganze Zahl ist, sobald in B vollkommene Dunkelheit herrscht.

Wird jetzt die Platte D um CG in ihrer Ebene um 180° gedreht, sodass die optische Achse CE links von CM zu liegen kommt, und der Haupteinfallswinkel

gleich φ_2 gemacht, so steht in B wieder der Interferenzstreifen mit demselben m wie vorher, und es ist daher auch

$$\delta = \frac{2\pi d}{T}\left(\frac{\cos\varphi_{e_2}}{e_2} - \frac{\cos\varphi_{o_2}}{a}\right),$$

wenn

$$\frac{\sin\varphi_2}{v} = \frac{\sin\varphi_{o_2}}{a} = \frac{\sin\varphi_{e_2}}{e_2}$$

ist. Mithin ist

$$\frac{\cos\varphi_{e_1}}{e_1} - \frac{\cos\varphi_{o_1}}{a} = \frac{\cos\varphi_{e_2}}{e_2} - \frac{\cos\varphi_{o_2}}{a}.$$

Ist nun c die Geschwindigkeit der ausserordentlichen Welle senkrecht zur optischen Achse, so ist bekanntlich die Geschwindigkeit e in einer Richtung, die mit der Achse den Winkel n einschliesst,

$$e^2 = a^2 - (a^2 - c^2)\sin^2 n \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 7)$$

Hieraus folgt

$$e_1^2 = a^2 - (a^2 - c^2)\sin^2(\varphi_{e_1} - \nu) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 7\text{a})$$

$$e_2^2 = a^2 - (a^2 - c^2)\sin^2(\varphi_{e_2} + \nu)$$

und folglich

$$\frac{v\cos\varphi_{e_1}}{e_1} - \frac{v\cos\varphi_{o_1}}{a} = \frac{v\cos\varphi_{e_2}}{e_2} - \frac{v\cos\varphi_{o_2}}{a}$$

$$\frac{\sin\varphi_1\cos\varphi_{e_1}}{\sin\varphi_{e_1}} - \frac{\sin\varphi_1\cos\varphi_{o_1}}{\sin\varphi_{o_1}} = \frac{\sin\varphi_2\cos\varphi_{e_2}}{\sin\varphi_{e_2}} - \frac{\sin\varphi_2\cos\varphi_{o_2}}{\sin\varphi_{o_2}}$$

$$\frac{\sin\varphi_1\sin(\varphi_{o_1} - \varphi_{e_1})}{\sin\varphi_{o_1}\sin\varphi_{e_1}} = \frac{\sin\varphi_2\sin(\varphi_{o_2} - \varphi_{e_2})}{\sin\varphi_{o_2}\sin\varphi_{e_2}}$$

$$\frac{\sin\varphi_1(\sin^2\varphi_{o_1} - \sin^2\varphi_{e_1})}{\sin\varphi_{o_1}\sin\varphi_{e_1}\sin(\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})} = \frac{\sin\varphi_2(\sin^2\varphi_{o_2} - \sin^2\varphi_{e_2})}{\sin\varphi_{o_2}\sin\varphi_{e_2}\sin(\varphi_{o_2} + \varphi_{e_2})}$$

$$\frac{\sin\varphi_1\left(\frac{a^2\sin^2\varphi_1}{v^2} - \frac{e_1^2\sin^2\varphi_1}{v^2}\right)}{\sin\varphi_{o_1}\sin\varphi_{e_1}\sin(\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})} = \frac{\sin\varphi_2\left(\frac{a^2\sin^2\varphi_2}{v^2} - \frac{e_2^2\sin^2\varphi_2}{v^2}\right)}{\sin\varphi_{o_2}\sin\varphi_{e_2}\sin(\varphi_{o_2} + \varphi_{e_2})}$$

$$\frac{\sin^3\varphi_1(a^2 - c^2)\sin^2(\varphi_{e_1} - \nu)}{\sin\varphi_{o_1}\sin\varphi_{e_1}\sin(\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})} = \frac{\sin^3\varphi_2(a^2 - c^2)\sin^2(\varphi_{e_2} + \nu)}{\sin\varphi_{o_2}\sin\varphi_{e_2}\sin(\varphi_{o_2} + \varphi_{e_2})}$$

$$\frac{\sin^3\varphi_1\sin^2(\varphi_{e_1} - \nu)}{\sin\varphi_{o_1}\sin\varphi_{e_1}\sin(\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})} = \frac{\sin^3\varphi_2\sin^2(\varphi_{e_2} + \nu)}{\sin\varphi_{o_2}\sin\varphi_{e_2}\sin(\varphi_{o_2} + \varphi_{e_2})}$$

$$\frac{\sin^2\varphi_1\sin^2(\varphi_{e_1} - \nu)}{\sin\varphi_{e_1}\sin(\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})} = \frac{\sin^2\varphi_2\sin^2(\varphi_{e_2} + \nu)}{\sin\varphi_{e_2}\sin(\varphi_{o_2} + \varphi_{e_2})} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 8)$$

Aus dieser Gl. 8) ist nun ν als Funktion von φ_1 und φ_2 zu berechnen. Dies ist in geschlossener Form nur möglich, wenn ν klein ist, was ja für unsere Betrachtungen von Anfang an vorausgesetzt werden musste.

6. Berechnung des Achsenfehlers.

Es sei ν so klein, etwa kleiner als 1^0, d. i. absolut 0,017, dass die höheren Potenzen von ν gegen ν vernachlässigt werden können, ebenso wie ν gegen Grössen, die grösser als 1 sind. Ferner ist zu beachten, dass die Einfalls- und Brechungswinkel natürlich kleiner als 90^0 sind, aber auch den Werth Null erreichen können.

Es ist

$$\frac{v}{a} = n_o \quad \text{und} \quad \frac{v}{c} = n_e \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 9)$$

wenn mit n_e der ausserordentliche Brechungsexponent bezeichnet wird, und daher nach Gl. 7a)

$$\frac{e_1^2}{a^2} = 1 - \frac{a^2 - c^2}{a^2} \sin^2(\varphi_{e_1} - \nu)$$

$$\frac{a^2 - c^2}{a^2} = 1 - \frac{c^2}{a^2} = 1 - \frac{\frac{v^2}{a^2}}{\frac{v^2}{c^2}} = 1 - \frac{n_o^2}{n_e^2} = \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$$

$$\frac{e_1^2}{a^2} = 1 - \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \sin^2(\varphi_{e_1} - \nu) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 9a)$$

Nun ist $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ praktisch immer eine kleine Grösse, für Quarz z. B. ungefähr gleich 0,012. Für letzteren kann man also stets die Grösse $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \sin^2(\varphi_{e_1} - \nu)$ gegen 1 vernachlässigen. Aber auch für alle anderen Krystalle mit grösseren Werthen von $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ ist dies möglich, sobald man die Messungen auf kleinere Einfallswinkel beschränkt, da die zu vernachlässigende Grösse für kleine Winkel klein von zweiter Ordnung wird. Man erhält mithin $\frac{e_1^2}{a^2} = 1$, $e_1 = a$, ebenso $e_2 = a$ und nach Gl. 5) $\varphi_{e_1} = \varphi_{o_1}$ und $\varphi_{e_2} = \varphi_{o_2}$.

Aus Gl. 8) wird dann[1])

$$\frac{\sin^2\varphi_1 \sin^2(\varphi_{o_1} - \nu)}{\sin\varphi_{o_1} \sin(2\varphi_{o_1})} = \frac{\sin^2\varphi_2 \sin^2(\varphi_{o_2} + \nu)}{\sin\varphi_{o_2} \sin(2\varphi_{o_2})}$$

$$\frac{\sin^2\varphi_1 \sin^2(\varphi_{o_1} - \nu)}{\sin^2\varphi_{o_1} \cos\varphi_{o_1}} = \frac{\sin^2\varphi_2 \sin^2(\varphi_{o_2} + \nu)}{\sin^2\varphi_{o_2} \cos\varphi_{o_2}}$$

$$\frac{\sin^2(\varphi_{o_1} - \nu)}{\cos\varphi_{o_1}} = \frac{\sin^2(\varphi_{o_2} + \nu)}{\cos\varphi_{o_2}}$$

$$\frac{\sin(\varphi_{o_1} - \nu)}{\sqrt{\cos\varphi_{o_1}}} = \frac{\sin(\varphi_{o_2} + \nu)}{\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}$$

wo nur die positiven Werthe der Quadratwurzeln in Betracht kommen, da $\varphi_{o_1} > \nu$ vorausgesetzt worden ist.

Nach der Taylor'schen Reihe ist

$$\sin(x + \nu) = \sin x + \nu \cos x - \frac{\nu^2}{2!} \sin x - \frac{\nu^3}{3!} \cos x + \ldots$$

und, wenn $0 < x < 90^0$ ist,

$$\sin(x + \nu) = \sin x + \nu \cos x - \frac{\nu^2}{2!} \sin x \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 10)$$

da die weiteren Glieder von höherer als der zweiten Ordnung klein sind. Für kleine x nämlich und für Werthe, die etwa 80^0 nicht überschreiten, kann auch das dritte Glied fortgelassen werden, während dieses für noch grössere Werthe von x zugleich mit dem zweiten Glied klein von zweiter Ordnung wird.

---

[1]) Streng genommen ist $\varphi_{e_1} = \varphi_{o_1}$ bis auf eine kleine Grösse von mindestens erster Ordnung. Trotzdem kann durch das völlige Gleichsetzen in Gl. 8) nur ein von zweiter Ordnung kleiner Fehler entstehen, wie sich unschwer, wenn auch etwas langwierig, zeigen lässt und auch ohne Rechnung plausibel ist, da beide Seiten der Gleichung gleich stark beeinflusst werden. Vorausgesetzt ist dabei, dass φ_1 nicht Werthe erreicht, die 90^0 nahe kommen. Man vergleiche auch die spezielle Berechnung im Abschnitt 8.

Bei der Reihenentwicklung von $\sin(\varphi_{o_1} - \nu)$ und $\sin(\varphi_{o_2} + \nu)$ kann bereits das dritte Glied fortgelassen werden, da die Brechungswinkel φ_{o_1} und φ_{o_2} für alle einachsigen Krystalle unter 60^0 bleiben. Man erhält so

$$\frac{\sin\varphi_{o_1} - \nu\cos\varphi_{o_1}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_1}}} = \frac{\sin\varphi_{o_2} + \nu\cos\varphi_{o_2}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}$$

$$\frac{\sin\varphi_{o_1}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_1}}} - \nu\sqrt{\cos\varphi_{o_1}} = \frac{\sin\varphi_{o_2}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}} + \nu\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}$$

$$\nu\left(\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} + \sqrt{\cos\varphi_{o_1}}\right) = \frac{\sin\varphi_{o_1}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_1}}} - \frac{\sin\varphi_{o_2}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}$$

$$\nu = \frac{\sin\varphi_{o_1}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} - \sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_1}}}{\sqrt{\cos\varphi_{o_1}\cos\varphi_{o_2}}\left(\sqrt{\cos\varphi_{o_1}} + \sqrt{\cos\varphi_{o_2}}\right)}.$$

Der Nenner des Bruches liegt stets zwischen den Werthen 2 (für $\varphi_{o_1} = \varphi_{o_2} = 0$) und 0,71 (für $\varphi_{o_1} = \varphi_{o_2} = 60^0$), ist daher endlich und gross gegen ν. Es muss also der Zähler von derselben Grössenordnung wie ν, d. h. auch klein von erster Ordnung sein; er sei gleich α. Wir setzen noch $\varphi_{o_1} = \varphi_{o_2} + \beta$ und bestimmen zunächst die Grössenordnung von β. Es ist jetzt

$$\sin(\varphi_{o_2} + \beta)\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} = \sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos(\varphi_{o_2} + \beta)} + \alpha.$$

Man erkennt, dass für kleine φ_{o_2} auch β klein sein muss, denn für $\varphi_{o_2} = 0$ folgt $\sin\beta = \alpha$. Aber auch für grosse φ_{o_2} muss β klein bleiben, denn würde es gross sein, so lässt es sich, da α zu vernachlässigen ist, aus der Gleichung berechnen

$$\sin(\varphi_{o_2} + \beta)\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} = \sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos(\varphi_{o_2} + \beta)},$$

die indessen $\beta = 0$ liefert, weil mit wachsendem β die linke Seite grösser, die rechte aber kleiner wird.

Da demnach β klein von erster Ordnung gesetzt werden kann, so darf in dem stets grossen Nenner des Bruches, dessen Zähler klein von erster Ordnung ist, $\varphi_{o_1} = \varphi_{o_2}$ gesetzt werden. Man erhält also

$$\nu = \frac{\sin(\varphi_{o_2} + \beta)\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} - \sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos(\varphi_{o_2} + \beta)}}{2\cos\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}.$$

Es ist wieder

$$\sin(\varphi_{o_2} + \beta) = \sin\varphi_{o_2} + \beta\cos\varphi_{o_2}$$

und nach der Taylor'schen Reihe

$$\sqrt{\cos(\varphi_{o_2} + \beta)} = \sqrt{\cos\varphi_{o_2}} - \beta\frac{\sin\varphi_{o_2}}{2\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}} + \ldots$$

Da φ_{o_2} unter 60^0 bleibt, so sind das dritte Glied und die folgenden mindestens von zweiter Ordnung klein und bleiben es, wenn sie mit $\sin\varphi_{o_2}$ multiplizirt werden. Solche kleinen Grössen zweiter Ordnung dürfen aber in dem stets von erster Ordnung kleinen Zähler fortgelassen werden. Demnach wird

$$\nu = \frac{\sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} + \beta\cos\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} - \sin\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}} + \beta\frac{\sin^2\varphi_{o_2}}{2\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}}{2\cos\varphi_{o_2}\sqrt{\cos\varphi_{o_2}}}$$

$$= \frac{\beta(2\cos^2\varphi_{o_2} + \sin^2\varphi_{o_2})}{4\cos^2\varphi_{o_2}}$$

$$\nu = \frac{\beta(2 - \sin^2\varphi_{o_2})}{4(1 - \sin^2\varphi_{o_2})}.$$

Nach den Gl. 5) und 9) ist nun

$$\sin\varphi_1 = n_o \sin\varphi_{o_1} \quad \text{und} \quad \sin\varphi_2 = n_o \sin\varphi_{o_2}.$$

Wir setzen $\varphi_1 = \varphi_2 + \gamma$ und bekommen

$$\sin(\varphi_2 + \gamma) = n_o \sin(\varphi_{o_2} + \beta)$$

$$\sin(\varphi_2 + \gamma) = n_o \sin\varphi_{o_2} + \beta\, n_o \cos\varphi_{o_2}$$

$$\sin(\varphi_2 + \gamma) = \sin\varphi_2 + \beta\, n_o \cos\varphi_{o_2}.$$

Aus dieser Gleichung lässt sich zunächst in gleicher Weise, wie es oben für β geschah, schliessen, dass γ klein von erster Ordnung ist. Setzen wir ferner voraus, dass φ_2 unter 80° bleibt, was nothwendig ist, aber für die praktische Bestimmung von ν eigentlich keine Einschränkung bedeutet, so wird

$$\sin\varphi_2 + \gamma\cos\varphi_2 = \sin\varphi_2 + \beta\, n_o \cos\varphi_{o_2}$$

$$\gamma\cos\varphi_2 = \beta\, n_o \sqrt{1 - \sin^2\varphi_{o_2}}$$

$$\beta = \frac{\gamma\cos\varphi_2}{n_o\sqrt{1 - \sin^2\varphi_{o_2}}}$$

$$\nu = \frac{\gamma\cos\varphi_2\,(2 - \sin^2\varphi_{o_2})}{4\, n_o (1 - \sin^2\varphi_{o_2})\sqrt{1 - \sin^2\varphi_{o_2}}}$$

oder, da $\sin\varphi_{o_2} = \frac{\sin\varphi_2}{n_o}$ ist, wie sich leicht ergiebt,

$$\nu = \frac{\gamma\cos\varphi_2\,(2\,n_o^2 - \sin^2\varphi_2)}{4\,(n_o^2 - \sin^2\varphi_2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Statt φ_2 kann man auch

$$\varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

setzen und erhält schliesslich die gesuchte Beziehung

$$\nu = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{4}\,\frac{\cos\varphi\,(2\,n_o^2 - \sin^2\varphi)}{(n_o^2 - \sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11)$$

Für $\varphi = 0$ geht diese Gleichung richtig in Gl. 4) über

$$\nu = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2\,n_o}.$$

7. Bemerkungen zur praktischen Bestimmung des Achsenfehlers.

Wie aus Gl. 11) folgt, braucht man bei der experimentellen Ermittelung von ν nur die Differenz $\varphi_1 - \varphi_2$ genau zu messen, während der Einfallswinkel φ selbst nur angenähert bekannt sein muss. Ersteres ist mit beliebiger Genauigkeit möglich, indem man die Platte mit Hülfe einer Mikrometerschraube um die zur Haupteinfallsebene Vertikale dreht.

Auch die Bedingung, die Platte in ihrer Ebene zu drehen, ist unschwer mit grosser Genauigkeit erfüllbar. Die unter 1,6 *mm* dicken Saccharimeter-Quarzplatten von etwa 16 *mm* Durchmesser befestigt man z. B. mittels eines Tropfens Zedernholzöl auf einer grösseren planparallelen Glasplatte, die durch schwache Federn gegen eine plane Unterlage gedrückt wird, sodass die Glasplatte sehr vollkommen in ihrer Ebene gedreht werden kann. Hierbei wird auch die Quarzplatte stets in ihrer Ebene bleiben, sobald die zwischen Glas- und Quarzplatte befindliche Zedernholzöl-Schicht parallel

ist. Dieses Zwischenfügen einer Flüssigkeit, deren Brechungsexponent nahe gleich dem des Quarzes ist, ist übrigens unumgänglich nothwendig, wie dies näher bei der Beschreibung des neuen Achsenfehlerapparates auseinandergesetzt werden soll.

Es bietet nun keine Schwierigkeiten, die Zedernholzöl-Schicht so parallel zu machen, dass ihr Keilwinkel unter einer Bogenminute bleibt. Ist die Quarzplatte gut plan geschliffen, so lässt sich durch geeignetes Anpressen immer ein Keilwinkel im Zedernholzöl unter 30 Sekunden herstellen. Jedenfalls ist der durch einen solchen Keilwinkel bei der Bestimmung des Achsenfehlers verursachte Fehler nur ein kleiner. Er ist abhängig von der Konstruktion des Achsenfehlerapparats und von der Lage der Krystallachse zur Richtung des Keils. Für den oben erwähnten Achsenfehlerapparat lässt sich theoretisch herleiten, dass der in ν hervorgerufene Fehler zwischen den Grenzen $\pm \frac{\zeta}{1,5}$ liegt, wenn ζ der Keilwinkel im Zedernholzöl ist; ist $\nu = 0$, so erhält man einen scheinbaren Achsenfehler von $\frac{\zeta}{1,5}$. Thatsächlich gab eine etwa 1,4 *mm* dicke Quarzplatte, deren Achsenfehler noch nicht eine Minute betrug, einen scheinbaren Achsenfehler von 14,1′, als man $\zeta = 21,0'$ gemacht hatte.

8. Praktische Bestimmung der Achsenfehler zweier Quarzplatten.

In wie weit die vorstehenden theoretischen Berechnungen unmittelbar auf zirkularpolarisirende Krystalle, wie Quarz, anwendbar sind, möge an den Resultaten von Versuchen mit Quarzplatten geprüft werden, die mit dem mehrfach erwähnten neuen Achsenfehlerapparat ausgeführt worden sind[1]). Sein Theilkreis, der mittels zweier Nonien die ganzen Minuten abzulesen gestattet, lässt sich durch eine mit Trommel versehene Schraube mikrometrisch drehen. Die Trommel ist in 100 Theile getheilt, und es entspricht, wie eine Prüfung ergab, ein Trommeltheil 6,018″; man kann daher bis auf 0,6″ gut ablesen. Gearbeitet wurde mit spektral gereinigtem, beide *D*-Linien enthaltendem Natriumlicht, für das die Wellenlänge in Luft $\lambda = 589,25\ \mu\mu$ ist, sodass für Quarz $n_0 = 1,5442$ zu setzen ist.

Die innerhalb dreier Tage angestellten Versuche wurden auf folgende Weise ausgeführt. Für einen Interferenzstreifen von der Ordnungszahl m wurde $\varphi_1 - \varphi_2$ zweimal bestimmt, das eine Mal, indem man die Platte mit dem Theilkreis aus der zur Sehlinie senkrechten Stellung nach links drehte, und das andere Mal nach rechts. In beiden Fällen wurden die beiden Grenzlagen φ_1 und φ_2 abwechselnd je fünfmal aufgesucht, wobei also die Platte etwa fünfmal um 360° in ihrer Ebene gedreht wurde. Hierbei betrug der mittlere Fehler ε jeder *einzelnen* Bestimmung einer Grenzlage bei der dicken Platte etwa $\varepsilon = \pm 5''$, bei der dünnen $\varepsilon = \pm 8''$. Grösser als 56° können die φ nicht gemacht werden, weil dann das Licht durch die Metall-Unterlage der Glasplatte abgeblendet wird.

Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate wurden mit einer bei 20° C. 5,0965 *mm* dicken, optisch homogenen, ziemlich gut planparallelen Quarz-

[1]) Als „Experimentelle Kontrole für die Richtigkeit der ermittelten Achsenlage“ hat Gumlich *S. 226 bis 228* seiner Abhandlung ein Verfahren angegeben, welches darin besteht, dass man die Krystallplatte um den Winkel $x\nu = n_0\nu$ gegen die Unterlage neigt und diese in ihrer Ebene um 180° dreht. Als Kriterium für die Richtigkeit des gefundenen Achsenfehlers soll dann der Umstand dienen, dass die Interferenzstreifen in Ruhe bleiben. Indessen ist dieses Verfahren in Wirklichkeit keine Kontrole. Die Interferenzstreifen können nämlich thatsächlich nur dann unbeweglich stehen bleiben, wenn die Krystallplatte streng um den Winkel $(\varphi_1 - \varphi_2)/2$ gegen die Unterlage geneigt wird. Dies ist aber ohne Weiteres ersichtlich, da dann beim Drehen der Unterlage in ihrer Ebene um 180° die Platte, wie erforderlich, gerade um $\varphi_1 - \varphi_2$ gedreht wird.

platte von etwa 16 *mm* Durchmesser erhalten. Ihr Keilwinkel beträgt 8″. Der Keilwinkel ζ im Zedernholzöl änderte sich während der Versuche von $+3''$ auf $-2''$ und hatte zur Krystallachse eine solche Richtung, dass durch ζ in ν überhaupt kein Fehler hervorgerufen werden konnte. Natürlich ist ν immer nach Gl. 11) berechnet worden.

m	$\varphi_1-\varphi_2$	φ	ν
1	678,3″	8° 57′	219,2″
2	685,6	13 53	220,9
3	692,4	17 17	222,3
7	702,2	26 50	222,1
11	716,2	34 1	221,8
15	735,4	40 11	221,4
19	772,3	45 49	223,8
23	819,9	51 10	225,7
24	832,9	52 30	225,7
25	847,3	53 49	225,7

Mittel[1] $\nu = 222{,}9'' = 3'\,43''$ und $\varepsilon\,(10) = \pm 2{,}3''$.

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde eine 0,8 *mm* dicke, optisch homogene, allerdings nicht so gut planparallele Quarzplatte von etwa 15 *mm* Durchmesser benutzt. Ihr Keilwinkel beträgt etwa 26″. ζ hielt sich konstant unter 1″. Die Resultate enthält die folgende Tabelle.

m	$\varphi_1-\varphi_2$	φ	ν
1	2923,9″	25° 57′	926,4″
2	3039,1	37 23	928,1
3	3213,9	46 46	924,1
4	3541,8	55 30	921,0

Mittel $\nu = 924{,}9'' = 15'\,25''$ und $\varepsilon\,(4) = \pm 3{,}1''$.

In den beiden Tabellen lässt sich in den Werthen von ν kein übereinstimmender systematischer Gang nachweisen. In beiden Fällen ist natürlich auf eine völlige Uebereinstimmung in den Einern der Bogensekunden nicht mehr zu rechnen in Anbetracht der bedeutend grösseren Keilwinkel der Platten. Jedenfalls ist aber der Nachweis geliefert, dass man kleine Achsenfehler planparalleler Platten bis auf wenige Sekunden genau ermitteln kann. Auch lehren die Versuche, dass für die hier in Betracht kommenden Verhältnisse sich der Quarz bereits in einer Richtung, die gegen die optische Achse um etwa 6°[2]) geneigt ist, wie ein gewöhnlicher optisch einachsiger Krystall verhält[3]).

---

[1]) Die Grösse ε giebt den mittleren Fehler der einzelnen Bestimmung, die hinter ε eingeklammerte Ziffer die Anzahl der einzelnen Bestimmungen.

[2]) $\dfrac{\sin 8^\circ 57'}{n_o} = \sin 5^\circ 47'$.

[3]) Der „Schluss", zu dem Gumlich auf *S. 222* seiner Abhandlung kommt, dass man bei der Bestimmung des Achsenfehlers in der Wahl der Interferenzstreifen beschränkt sei, ist nicht zutreffend. Der systematische Gang, welchen Gumlich aus seinen Messungen (*S. 222*) für ν abgeleitet hat, verschwindet nämlich, sobald man die dortigen Versuche nicht nach seiner von ihm als erste Annäherung bezeichneten Formel 11, sondern entweder nach der ersten Zeile seiner Gleichung 10 oder nach meiner genauen geschlossenen Formel 11) berechnet.

Es werde nun noch an einem speziellen Beispiel berechnet, welcher Fehler in Gl. 8) entstanden ist, als $\varphi_{e_1} = \varphi_{o_1}$ und $\varphi_{e_2} = \varphi_{o_2}$ gesetzt wurde, zumal, ob dadurch schon ein von erster Ordnung kleiner Fehler erzeugt worden ist. Bei der Rechnung können daher kleine Grössen zweiter Ordnung bereits vernachlässigt werden. Aus Gl. 9a) wird dann

$$\frac{e_1^2}{a^2} = 1 - \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \sin^2 \varphi_{e_1}$$

$$\frac{\sin^2 \varphi_{e_1}}{\sin^2 \varphi_{o_1}} = 1 - \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \sin^2 \varphi_{e_1}$$

$$\frac{n_o^2 \sin^2 \varphi_{e_1}}{\sin^2 \varphi_1} = 1 - \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \sin^2 \varphi_{e_1}$$

$$\sin^2 \varphi_{e_1} \left(\frac{n_o^2}{\sin^2 \varphi_1} + \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \right) = 1$$

$$\sin \varphi_{e_1} = \frac{1}{\sqrt{\frac{n_o^2}{\sin^2 \varphi_1} + \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}}}.$$

Ebenso lässt sich φ_{e_2} berechnen. Es ist noch $n_e = 1{,}5533$. Das Beispiel sei

$$m = 25 \qquad \varphi_1 - \varphi_2 = 847'' = 14'\,7'' \qquad \varphi = 53^\circ\,49'$$
$$\nu = 226'' = 3'\,46'' \qquad \varphi_1 = 53^\circ\,56'\,4'' \qquad \varphi_2 = 53^\circ\,41'\,57''$$

und folglich

$$\varphi_{o_1} = 31^\circ\,33'\,55'' \qquad \varphi_{o_2} = 31^\circ\,27'\,35''$$
$$\varphi_{e_1} = 31^\circ\,30'\,33'' \qquad \varphi_{e_2} = 31^\circ\,24'\,15''.$$

Dann ist die linke Seite der Gl. 8) gleich 0,381653 und die rechte gleich 0,381666, also der Fehler gleich 0,000013. Dieser ist mithin thatsächlich klein von zweiter Ordnung, da ν in absolutem Winkelmaass gleich 0,0011 ist.

9. Berechnung von $n_e - n_o$.

Wie man aus den Drehungserscheinungen des Quarzes mit grosser Genauigkeit die Differenz der Brechungsexponenten in Richtung der Achse berechnen kann, so lässt sich aus den vorstehenden Interferenzerscheinungen die Differenz der Brechungsexponenten senkrecht zur Achse bestimmen.

Nimmt man mit Gl. 6) ähnliche Umwandlungen vor, wie bei Herleitung der Gl. 8), so erhält man

$$\delta = \frac{2\pi d}{v\,T n_o} \, \frac{(a^2 - c^2)}{a^2} \, \frac{\sin^2 \varphi_1 \sin^2 (\varphi_{e_1} - \nu)}{\sin \varphi_{e_1} \sin (\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})}.$$

Nun ist

$$v\,T = \lambda \qquad \frac{a^2 - c^2}{a^2} = \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} \qquad \delta = 2\,m\,\pi$$

und daher

$$m = \frac{d}{\lambda\, n_o} \, \frac{(n_e^2 - n_o^2)}{n_e^2} \, \frac{\sin^2 \varphi_1 \sin^2 (\varphi_{e_1} - \nu)}{\sin \varphi_{e_1} \sin (\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})}$$

$$\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} = \frac{m \lambda n_o}{d} \, \frac{\sin \varphi_{e_1} \sin (\varphi_{o_1} + \varphi_{e_1})}{\sin^2 \varphi_1 \sin^2 (\varphi_{e_1} - \nu)} \quad \ldots\ldots \quad 12)$$

Aus dieser strengen Gleichung leiten wir für die kleine Grösse $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ einen bis auf kleine Grössen zweiter Ordnung richtigen Werth ab, wenn wir $\varphi_{e_1} = \varphi_{o_1}$ setzen und ν vernachlässigen. Man erhält dann leicht

$$\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} = \frac{2\,m\,\lambda}{d} \, \frac{\sqrt{n_o^2 - \sin^2 \varphi}}{\sin^2 \varphi} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 13)$$

Die Resultate für die dicke Quarzplatte enthält die folgende Tabelle[1]).

m	φ	$\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ nach Gleichung 13)	12)
1	8° 57′	0,014 68	0,014 70
2	13 53	0,012 25	
3	17 17	0,011 91	
7	26 50	0,011 73	
11	34 1	0,011 70	
15	40 11	0,011 69	
19	45 49	0,011 68	
23	51 10	0,011 69	
24	52 30	0,011 68	
25	53 49	0,011 68	0,011 70

In diesem Falle sind die anfänglichen Aenderungen in den Werthen von $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ noch durch die Zirkularpolarisation des Quarzes bedingt und verschwinden erst, wenn die Strahlen den Quarz in einer um mehr als 17°[2]) von der optischen Achse abweichenden Richtung durchsetzen[3]). Das Mittel aus den 6 letzten Werthen ist $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2} = 0{,}01169$. Es folgt

$$n_e - n_o = 0{,}011\,69 \frac{n_e^2}{n_e + n_o}$$

und, da $n_e = 1{,}5533$ und $n_o = 1{,}5442$ ist, $n_e - n_o = 0{,}009106$, ein Werth, der bis auf etwa 0,1 % als richtig anzusehen ist.

10. Schlussresultat.

Der Achsenfehler ist zu berechnen nach der Gleichung

$$\nu = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{4} \frac{\cos\varphi\,(2n_o^2 - \sin^2\varphi)}{(n_o^2 - \sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} = (\varphi_1 - \varphi_2)\,F(\varphi, n_o)\,.$$

---

[1]) Die Angaben in der Gumlich'schen Abhandlung auf *S. 221* bedürfen einer Richtigstellung, welche daraus entspringt, dass die Ordnungszahlen („Interferenzstreifen No.") der Ringe bei der Platte No. 8 sämmtlich um 1 erhöht werden müssen, da dem ersten und innersten Interferenzring bereits die Ordnungszahl $m = 2$ zukommt. Bringt man diese Aenderung an, so widersprechen die Ergebnisse meinen Resultaten nicht mehr. (Der Ausdruck $\frac{a^2 - c^2}{a^2}$ daselbst anstatt $\frac{a^2 - c^2}{v^2}$ ist ein Druckfehler.)

[2]) $\frac{\sin 26^\circ 50'}{n_o} = \sin 17^\circ 0'$.

[3]) Für $\frac{n_e^2 - n_o^2}{n_e^2}$ kommen nämlich die ganzen Winkel φ in Betracht, für ν nur die Differenzen $\varphi_1 - \varphi_2$. Zu beachten ist auch, dass bei noch dickeren Quarzplatten der innerste Interferenzring bereits von höherer Ordnungszahl ist als der ersten; so kommt z. B. bei einer etwa 10 *mm* dicken Platte dem innersten, einem Einfallswinkel von 9° entsprechenden Interferenzring schon die Ordnungszahl $m = 2$ zu.

Für Quarz und Natriumlicht können die angenäherten Werthe von $F(\varphi, n_0)$ aus der folgenden Tabelle entnommen werden.

φ	$F(\varphi, n_0)$
0°	0,324
9	0,323
27	0,32
34	0,31
37	0,31
40	0,30
46	0,29
47	0,29
51	0,28
53	0,27
54	0,27
56	0,26

Ueber einen Thermostaten für tiefe Temperaturen und seine Anwendung bei der Vergleichung von Thermoelementen.

Von
Dr. **Rudolf Rothe.**
(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Die Herstellung konstanter tiefer Temperaturen für Messzwecke ist zur Zeit noch mit Schwierigkeiten verknüpft, welche wohl in erster Linie der Grund sind, dass sich weitaus die meisten gasthermometrischen Messungen auf die durch die gebräuchlichen Kältemischungen und den Siedepunkt flüssiger Luft gegebenen konstanten Temperaturen beschränken. Insbesondere ist es das Temperaturintervall von — 80° bis — 190°, welches sich aus dem angeführten Grunde der Messung als schwer zugänglich erwiesen hat. Allein das Platinthermometer ist mit dem Wasserstoffthermometer in einer Anordnung verglichen worden, welche bei langsam ansteigender Temperatur auch Zwischenpunkte sowie „in der Nähe des Aetherschmelzpunkts eine Temperatur, die ebenso lange konstant blieb, wie die des Bades von flüssiger Luft", zu beobachten gestattete[1]). In ähnlicher Weise war bei langsam steigender Temperatur von Dewar und Fleming[2]) die Thermokraft und der Widerstand einiger Metalle in Temperaturen bis zum Siedepunkt der flüssigen Luft bestimmt worden. Diese Anordnungen sind jedoch theils nicht ohne Einwände geblieben[3]), theils wohl nur für besondere Zwecke und dann verwendbar, wenn die Messung sich auf zwei oder drei Instrumente beschränkt und rasch genug vor sich gehen kann.

Im Folgenden theile ich zunächst eine Methode mit, mittels welcher beliebige *konstante* tiefe Temperaturen hergestellt werden können. Sie hat zur Konstruktion eines Flüssigkeits-Thermostaten geführt, dessen ausführliche instrumentelle Beschreibung gegeben wird. Im Anschluss daran werden noch einige Beobachtungen in tiefen Tempera-

¹) Holborn und Wien, *Wied. Ann.* **59.** *S. 213. 1896.*

²) Dewar und Fleming, *Phil. Mag.* **40.** *S. 95. 1895.*

³) Vgl. Callendar, *Phil. Mag.* **47.** *S. 191. 1899* und die Erwiderung bei Holborn, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 252. 1901.*

turen mittels Thermoelements angeführt, welche in erster Linie einen Beweis für die Brauchbarkeit des zu beschreibenden Apparates liefern sollen; nebenbei geben sie einige Aufschlüsse über den Verlauf der Thermokraft bei den untersuchten Elementen in Temperaturen, welche, abgesehen vom Siedepunkt der flüssigen Luft, im Intervall von 0° bis gegen — 140° enthalten sind.

I. Beschreibung des Thermostaten.

Vorversuche. Seitdem durch die nach dem Linde'schen Verfahren in grösseren Mengen herstellbare flüssige Luft ein bequemes Abkühlungsmittel gegeben ist, lag es nahe, dasselbe auch für thermostatische Zwecke in tiefen Temperaturen zu gebrauchen. Die eingangs berührte Schwierigkeit bestand nun im Wesentlichen darin, dass es auf keine Weise gelang, durch Drosselung der Zufuhr des Kühlmittels eine für thermostatische Beobachtungen hinreichende Temperaturkonstanz zu erzielen. Auf diesen Punkt ist aber um so grösseres Gewicht zu legen, als bei der Vergleichung von elektrischen Temperaturmessern die Ermittelung der zur Temperaturmessung nöthigen Grössen (Spannung, Widerstand) relativ längere Zeit in Anspruch nimmt, als bei Thermometern. Aus diesem Grunde sind auch, wie erwähnt werden mag, die für thermometrische Zwecke sonst brauchbaren Kältemischungen nur in sehr beschränkter Zahl verwendbar.

Schon in Temperaturen über 0° kann aber die hier erforderliche Temperaturkonstanz schwer anders als durch eine regulirbare elektrische Widerstandsheizung erreicht werden[1]). Daher wurde auch für tiefe Temperaturen bei der zu beschreibenden Methode von vornherein der elektrischen Temperaturregulirung die Hauptrolle zuertheilt. Die Abkühlung auf die tiefe Temperatur hat freilich mit Hülfe eines Kühlmittels (der flüssigen Luft) vor sich zu gehen.

Dem entsprechend liegt der Konstruktion des im Folgenden zu beschreibenden Thermostaten im Wesentlichen das nämliche Prinzip zu Grunde, wie es bisher ausschliesslich für höhere Temperaturen verwendet worden ist: die Herbeiführung eines stationären Temperaturzustands erfolgt dadurch, dass die an eine kältere Umgebung verlorene Wärmemenge durch den gleich grossen Betrag der von einer Heizvorrichtung erzeugten ersetzt wird.

Es wurden zunächst, namentlich um die Wirkung der elektrischen Temperaturregulirung auch in tiefen Temperaturen zu studiren, mit einfachen Mitteln einige vorbereitende Versuche angestellt, welche schon zu befriedigenden Resultaten führten.

In einen mit Filz geschützten zylindrischen Behälter wurde ein Becherglas von etwa 2 *cm* kleinerem Radius, mit Benzin gefüllt, gestellt; der Zwischenraum zwischen beiden war mit fester Kohlensäure ausgefüllt; als Heizvorrichtung in der Badflüssigkeit diente ein Ringrührer, dessen Ring mit einem elektrisch erwärmten Konstantandraht bewickelt war. Diese Vorrichtung wirkte in Bezug auf Temperaturkonstanz vollkommen ausreichend, war aber namentlich in höheren Temperaturen unökonomisch, da die Kohlensäure zu schnell verdampfte.

Eine andere Anordnung für tiefe Temperaturen war die folgende: In ein mit flüssiger Luft gefülltes Dewar'sches Gefäss wurde ein zweites, mit Petroläther beschicktes, gebracht, in welchem das Temperaturgleichgewicht durch einen ähnlichen

[1]) Vgl. Jaeger und Diesselhorst, *Wissensch. Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt* **3.** *S. 305. 1900*, wo es in Bezug auf thermoelektrische Messungen schon bei Temperaturen zwischen 0° und + 50° heisst: „erst durch die elektrische Heizung gelang es, Temperaturen von genügender Konstanz zu erhalten"; Grützmacher, *a. a. O. S. 249;* Rothe, *diese Zeitschr.* **19.** *S. 143. 1899.*

Ringrührer mit elektrischer Heizvorrichtung, wie vorher, hergestellt wurde[1]). Die erreichbare Temperaturkonstanz ist hier ausserordentlich gross, weil die Wärmeisolation der Vakuumgefässe vorzüglich ist. Aber diese ist auch die Ursache, dass die durch die flüssige Luft zu bewirkende Abkühlung des Petroläthers nur sehr langsam erfolgt.

Durch solche Vorversuche wurde eine sich unter Anderem auch auf die Wahl des Rührwerks beziehende Reihe von Erfahrungen gesammelt, welche schliesslich zu der nachstehend beschriebenen Konstruktion eines Thermostaten führte.

Thermostat. Ein hölzerner, passend ausgedrehter, mit Tuch ausgefütterter Fuss F (Fig. 1) trägt ein grösseres zylindrisches Dewar'sches Gefäss G_1, welches mit einem Deckel D geschlossen ist, der an der unteren Seite einen Ring aus Filz trägt und, damit er durch seine Last den oberen, recht empfindlichen Rand des Gefässes nicht eindrückt, mittels seitlich angebrachter Schrauben aus Messing an zwei im Fusse eingeleimten Holzstäben A festgeklemmt ist. Als Material für den Deckel wählte man gut getrocknetes, mit Paraffin durchtränktes Weissbuchenholz; ein Deckel aus Hartgummi war unter Einwirkung der tiefen Temperatur zersprungen. Durch einen kreisförmigen, zentrischen, ebenfalls mit einem Filzstreifen ausgefütterten Ausschnitt des Deckels kann ein zweites, *nicht* evakuirtes Glasgefäss G_2 mit doppelter Wandung, welches weiter unten zu beschreiben ist und dessen untere Spitze durch einen Korken K passend geschützt wird, in das erstere so hineingestellt werden, dass ein Zwischenraum von etwa 0,5 *cm* zwischen der inneren Wandung des ersten und der äusseren des zweiten Gefässes bestehen bleibt. Dieses nimmt das eigentliche, auf konstanter Temperatur zu haltende Flüssigkeitsbad (Petroläther, Benzin) und die zur Temperaturmessung dienenden Thermoelemente u. s. w. auf; es ragt über den Holzdeckel noch mehrere Zentimeter heraus, was für viele Zwecke, z. B. dann nützlich ist, wenn Thermometer mit Alkohol-, Toluol- oder Petroläther-Füllung bei ganz eintauchendem Faden beobachtet werden sollen; in solchen Fällen lässt man die Badflüssigkeit einige Zentimeter über das Niveau des Deckels reichen.

Das äussere Glasgefäss ist, um Strahlungseinflüsse der Umgebung möglichst zu vermeiden, innen und aussen versilbert bis auf zwei diametral gegenüberliegende Streifen, welche die Vorgänge im Innern des Gefässes zu beobachten gestatten. Soweit sein Innenraum nicht durch das zweite Gefäss eingenommen wird, ist es mit der die Abkühlung bewirkenden Substanz von nahezu konstanter Temperatur (flüssiger Luft) angefüllt, von der also das innere Gefäss umspült wird. An diese giebt, entsprechend dem vorher Auseinandergesetzten, die in dem inneren Gefäss enthaltene Badflüssigkeit allmählich Wärme ab, sodass eine Temperaturerniedrigung der Flüssigkeit erfolgt, so lange, bis durch die Gegenwirkung der sogleich zu beschreibenden Heizvorrichtung ein stationärer Temperaturzustand erreicht ist.

Turbine mit Heizvorrichtung. Die elektrische Heizvorrichtung des Thermostaten ist mit dem die Badflüssigkeit durcheinander mischenden Rührer verbunden worden. Eine derartige Anordnung empfiehlt sich stets, weil die von der Heizvorrichtung erzeugte Wärme dann an die am stärksten bewegten Theile der Flüssigkeit abgegeben wird und so ein schnellerer Ausgleich der Temperaturverschiedenheiten im Innern des Bades ermöglicht wird.

Zuerst war eine kleine Rührturbine verwendet worden; obgleich sie, wie aus Fig. 1 ersichtlich, später durch eine andere, an dem vorliegenden Thermostaten ungleich sicherer wirkende Rührvorrichtung ersetzt worden ist, mag doch ihre Beschrei-

[1]) Vgl. den Thätigkeitsbericht der Reichsanstalt für 1900. *Diese Zeitschr.* ***21.*** *S. 147. 1901.*

bung hier erfolgen, weil sie einfacher herzustellen und für manche Zwecke brauchbarer ist, als die andere. Das Rührwerk besteht aus einer Witt'schen[1]) Turbine im Vereine mit einer darunter angebrachten Heizvorrichtung.

Die Wirkungsweise der ersteren ist bekanntlich eine solche, dass die durch die untere Oeffnung der Turbine eintretende Flüssigkeit durch die seitlichen Löcher vermöge der Zentrifugalkraft herausgeschleudert wird. Die elektrische Heizvorrichtung besteht aus einem dünnen, auf ein Glimmerkreuz gewickelten Konstantanband von passend bemessenem Widerstand; seine Enden sind mit stärkeren Kupferdrähten verlöthet, welche an einem an dem feststehenden Glasrohr der Turbine angekitteten Stege aus Vulkanfiber befestigt sind und gleichzeitig als Stromzuführung und Träger der Heizvorrichtung dienen. Die weiteren Zuleitungsdrähte sind durch Glasröhren nach oben geführt.

Diese Vorrichtung wirkt einwandsfrei, so lange es sich um die Erwärmung und Durchrührung des Inhalts von Kolben, in welche der Apparat leicht eingeführt werden kann, niedrigen Bechergläsern o. dgl. handelt, und hat in dieser Weise gute Dienste geleistet. Bei hohen zylindrischen Gefässen dagegen ist die Wirkung des Rührers in den oberhalb der Turbine gelegenen Theilen der Flüssigkeit nicht mehr ausreichend, sodass hier Schichten von verschiedener Temperatur entstehen können.

Ringrührer mit Heizvorrichtung. Um eine derartige Fehlerquelle zu vermeiden, welche sich mehr oder minder auch bei anderen Turbinen oder Schraubenrührern gezeigt haben würde, kehrte man zur Anwendung eines einfachen Ringrührers zurück, der jedoch der Gleichmässigkeit der Durchrührung wegen automatisch zu betreiben war. Wegen der relativ grossen Hubhöhe des Rührers und bei der leichten Bauart der übrigen Theile des Apparates wäre die gewöhnliche Verwendung einer Exzenterscheibe mit Schwierigkeiten verbunden gewesen, ausserdem hat ihre Benutzung beim Durchrühren einer Flüssigkeit den prinzipiellen Mangel, dass die Geschwindigkeit in der Mitte des Hubes am grössten ist, nach den Enden aber allmählich verschwindet, während doch die innigste Durchmischung der Flüssigkeit durch eine möglichst plötzliche Umkehrung der Bewegungsrichtung herbeigeführt wird.

Aus diesen Gründen schritt man zu einer anderen Konstruktion. Ueber zwei auf einer Hartgummileiste befestigte drehbare Rollen aus demselben Material, B und B_1, ist ein biegsames Metallband ohne Ende gelegt, mit welchem der Zapfen Z aus Stahldraht verlöthet ist; die eine mit einer Nuth versehene Rolle B_1 kann durch Schnurlaufübertragung von einem Elektromotor in Umdrehung versetzt werden, wodurch dem Zapfen Z eine wesentlich geradlinige Bewegung ertheilt wird; nur oben und unten bewegt er sich in Halbkreisen mit kleinen Radien. Durch die Bewegung dieses Zapfens wird mittels der kleinen Pleuelstange P dem bei C durch eine Schelle befestigten Ringrührer RS eine rein geradlinige, auf- und absteigende Bewegung von im Allgemeinen gleichförmiger Geschwindigkeit ertheilt, deren Aenderung an den Enden des Hubes plötzlich genug erfolgt, um eine kräftige Durcheinandermischung der Flüssigkeit zu bewirken.

Die Hubhöhe der Vorrichtung richtet sich nach dem Abstand der Rollen B und B_1, von denen die obere in einem Schlitz L verstellbar ist, während die untere in mehreren, übereinander gelegenen Durchbohrungen M der Hartgummileiste festgeschraubt werden kann. Die passende Wahl des Metallbandes und die Befestigungsweise des Zapfens Z war zuerst mit einigen Schwierigkeiten verknüpft; ein an

[1]) O. N. Witt, *Ber. d. Deutsch. Chem. Ges.* **26.** *S. 1696. 1893.*

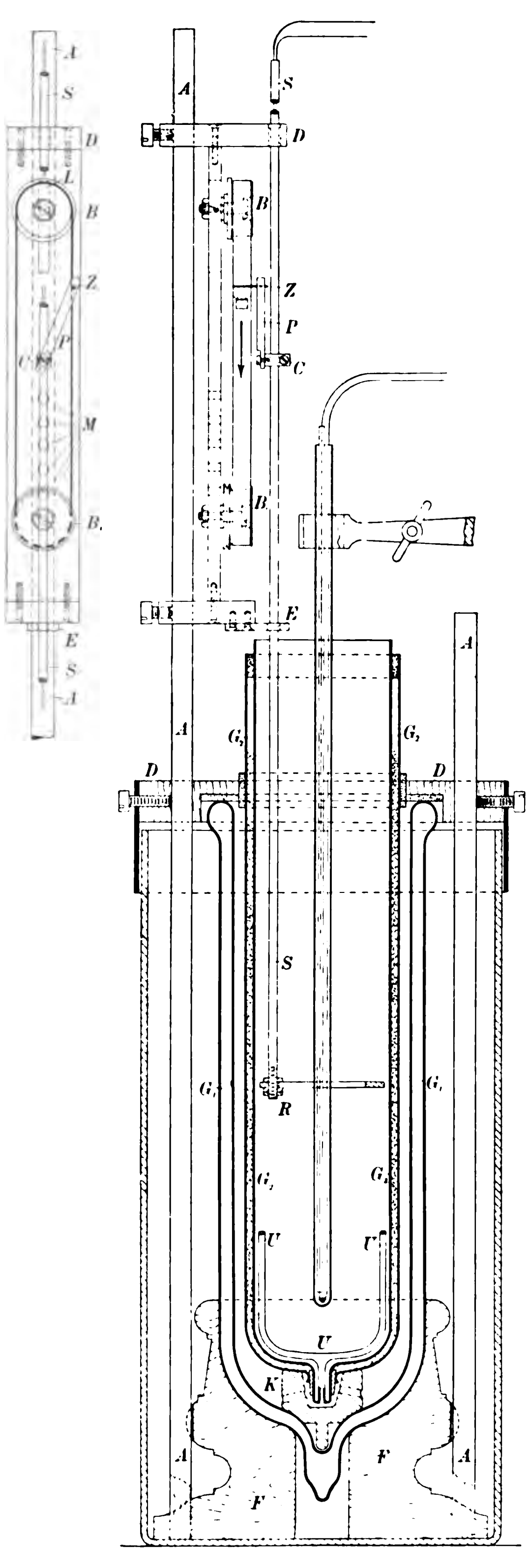


Fig. 1.

den Enden zusammengelöthetes Kupferband zerriss sehr bald, weil sich an den Löthstellen in Folge der fortwährenden Biegung des Bandes ein Gelenk bildete. Schliesslich wurde von einer Verlöthung der Enden überhaupt Abstand genommen und die folgende Anordnung für zweckmässig befunden.

Ein Konstantanband, wie es für elektrische Widerstände benutzt wird, von $10 \times 0{,}1$ *mm* Querschnitt, wurde an den zu verbindenden Enden im Bunsenbrenner ausgeglüht, mit möglichst wenig Loth an ein Ende der Zapfen gelöthet und in etwa 5 *mm* Abstand von diesem ein rechteckiges Stück von 4 *mm* Breite aus dem Bande herausgeschnitten; das andere Ende, auf dieselbe Breite verschnitten, wurde umgebogen und in den erwähnten Ausschnitt eingehakt. Diese Anordnung bewährte sich, sorgfältig ausgeführt, sehr gut; ein Abbrechen des Hakens trat selten und erst nach mehrstündigem, ununterbrochenem Gange des Rührwerks ein; übrigens kann eine Erneuerung ohne Schwierigkeiten bewirkt werden. Da das Metallband während der Bewegung Neigung hat, von den Rollen nach vorn abzugleiten, ist auf die Rolle B_1 eine dünne Scheibe aus Stahlblech aufgekittet, deren Durchmesser um einige zehntel Millimeter grösser als der der Rolle ist. Bei der vorher beschriebenen Befestigungsart des Zapfens Z wird dieser durch den vorstehenden Rand der Scheibe in seiner Bewegung nicht gehindert.

Durch die Schellenbefestigung bei C kann die Stange S und damit die Lage der Umkehrungen des Rührers in der Höhe verstellt werden. Die Stange hat in ihrer senkrechten Bewegung eine Führung bei D und E durch Löcher in den Querleisten aus Hartgummi, welche auf die senkrechte Leiste aufgeschraubt sind; wenn die Bohrung bei E, durch die der abgekühlte Theil des Rührers hindurchgeht, weit genug ist, steht ein andernfalls leicht eintretendes Festfrieren der Stange S durch Feuchtigkeitsniederschläge aus der Atmosphäre nicht zu befürchten. Die Stange besteht aus

einem möglichst geraden Glasrohr und ist unten an dem Ring R befestigt. Der letztere (Fig. 2) ist aus Vulkanfiber gedreht, der inneren Wandung des Glasgefässes angepasst und an seiner äusseren Peripherie mit eingefeilten Nuthen versehen, wodurch die Umspinnung des herumgewickelten Heizdrahtes beim Auf- und Niedergang vor Verletzung geschützt werden soll.

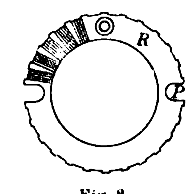


Fig. 2.

Der Heizdraht ist mit schellackirter Seide umsponnener Konstantandraht von 0,25 *mm* Durchmesser. Sein Widerstand beträgt etwa 55 Ohm; die maximale, ohne Durchbrennen der Isolation noch zulässige Strombelastung ist besonders in tiefen Temperaturen relativ sehr gross, sodass eine Temperaturerhöhung der Badflüssigkeit schnell bewirkt werden kann. Die Stromzuführung geschieht durch zwei mit schellackirter Seide isolirte Kupferdrähte, welche im Innern der Glasröhre S hochgeführt werden, oberhalb eine Spirale von zwei bis drei grossen Windungen bilden und an zwei an der Wand befestigten Tischklemmen endigen; die letztere Anordnung hat den Zweck, die freie Bewegung des Rührers durch die Drahtleitung in keiner Weise zu behindern. Die Regulirung der Stromstärke muss bei der kleinen Kapazität des Glasgefässes in ziemlich engen Grenzen erfolgen. Zum Konstanthalten der Temperatur reicht je nach der Höhe derselben ein Strom bis zu einigen zehntel Ampere aus. Genauere Angaben lassen sich nicht machen; denn je nach der Menge der Badflüssigkeit, der Zahl und dem Volumen der zu beobachtenden Instrumente u. s. f. können die zuzuführenden Wärmemengen stark variiren; ausserdem ist zu beachten, dass durch das Auf- und Niedersteigen der Rührstange selbst noch Wärme zugeführt wird.

Uebrigens ist die Temperaturkonstanz des Thermostaten wie bei allen mit elektrischer Heizvorrichtung versehenen Apparaten auch in extremen Temperaturen ohne Mühe herzustellen. In Tab. II (s. weiter unten) sind für 16 Beobachtungsreihen von je etwa 10 Minuten Dauer die Temperaturänderungen vermerkt worden. Bei einiger Uebung sind ein bis zwei zehntel Grad auf zehn Minuten leicht zu erreichen.

Abkühlungsvorrichtung. Die zur Temperaturerniedrigung des Apparats dienende flüssige Luft kann mit Hülfe eines filzumkleideten Papptrichters durch eine Oeffnung des Deckels in das äussere Dewar'sche Gefäss (vgl. Fig. 1) gegossen werden. In Folge der durch den Vakuummantel und die Versilberung bewirkten, sehr beträchtlichen Wärmeisolation findet ein Verdampfen der flüssigen Luft nur langsam statt, sodass ein Nachfüllen erst nach längerer Zeit nothwendig wird. Da eine Temperaturerniedrigung der Badflüssigkeit lediglich durch die Glaswände des inneren Gefässes hindurch nur langsam erfolgt, so ist für schnellere Abkühlung eine besondere Vorrichtung angebracht worden, welche jedoch nur zur gröberen Temperatureinstellung dienen soll.

Das innere Gefäss G_2 ist in der in Fig. 1 ersichtlichen Weise[1]) aus zwei konzentrischen Glasmänteln zusammengesetzt, welche durch eine Zwischenschicht möglichst gut von einander isolirt sind. Der innere Mantel trägt unten einen Fortsatz und ist mittels eines Korkes, der mit Wachs gedichtet ist, in eine entsprechende Oeffnung des äusseren Mantels eingefügt. In den Fortsatz ist unten ein langes, U-förmig gebogenes Glasrohr U mit Ansatzstutzen festgeschmolzen, welches demnach mit dem Aussenraum kommunizirt, in der Weise, dass die zur Abkühlung dienende flüssige Luft von unten in das U-Rohr steigen kann, ohne in das innere Gefäss selbst zu gelangen. Damit der

[1]) Die Figur ist in der Art gezeichnet, dass der untere Theil des Gefässes G_2 bis zu der Stelle, wo das Rohr UU abgebrochen ist, gegen den oberen um 90° gedreht erscheint.

Ringrührer an den Schenkeln des U-Rohrs Führung erhält, sind im Ringe *R* bei *P* (Fig. 2) zwei Aussparungen vorgesehen. Die Enden des U-Rohrs sind oberhalb des Gefässes G_2 durch Gummischläuche mit einem gabelförmigen Glasrohr (in Fig. 1 nicht gezeichnet) verbunden und können durch einen Quetschhahn mit Schraube verschlossen werden. Nur wenn der letztere geöffnet ist, kann die flüssige Luft in die Schenkel des U-Rohrs steigen; da dieses unmittelbar mit dem Bad in Berührung steht, so findet eine starke Verdampfung derselben und damit eine Abkühlung der Badflüssigkeit statt; die verdampfte Luft entweicht nach oben. Messungen über die Wirksamkeit der Kühlvorrichtung ergaben im Mittel eine Temperaturerniedrigung von etwa 2 Grad in der Minute.

Die oben beschriebene Anordnung zweier getrennter Mäntel für das innere Gefäss ist, so lange man überhaupt die Abkühlungsvorrichtung benutzen will, aus rein technischen Gründen der Verwendung eines evakuirten Dewar'schen Gefässes vorgezogen; denn selbst gut gekühlte Vakuumgefässe mit einer Ausflussöffnung, in welche das U-Rohr von oben mit wenig Schellack oder mit Wasserglas eingekittet war, sind stets unter dem Einfluss der tiefen Temperatur gesprungen; ein Zerschellen des inneren Gefässes ist aber mit Rücksicht auf das dadurch gefährdete äussere nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Wärmeisolation bei einem aus zwei Mänteln bestehenden nicht evakuirten Gefäss ist freilich geringer als bei sorgfältig hergestellten Vakuumgefässen[1]). Uebrigens ist noch um den äusseren Mantel ein Schutznetz gelegt[2]).

Zum Gebrauch des Apparates. Die erreichbare tiefste Temperatur des Thermostaten ist diejenige des im äussern Glasgefäss enthaltenen Abkühlungsmittels. Vorwiegend ist der Thermostat mit flüssiger Luft als Abkühlungs- und Petroläther als Badflüssigkeit benutzt worden; in sehr tiefen Temperaturen (etwa bei -150^0) fängt aber der Petroläther an, namentlich wenn er nach mehrstündigem Gebrauch grössere Mengen atmosphärischer Feuchtigkeit aufgenommen hat, trübe und so dickflüssig zu werden, dass das Rührwerk nicht mehr bewegt werden kann und der Brauchbarkeit des Apparats bei Petrolätherfüllung hier eine Grenze gesetzt ist. Ob man bei Benutzung des Apparats in einem künstlich getrockneten Raum eine noch tiefere Temperatur erreichen kann, darüber sollen noch Versuche angestellt werden.

Will man keine tieferen Temperaturen als -79^0 erreichen, so genügt als Abkühlungssubstanz feste Kohlensäure, wo dann freilich die durch das U-Rohr gebildete Kühlvorrichtung nicht mehr benutzt werden kann; durch Hineinwerfen kleinerer Stücke fester Kohlensäure in die Badflüssigkeit, als welche jetzt auch Benzin oder ein leichtes Petroleumdestillat verwendbar ist (Alkohol wäre wegen der Schellackisolation des Heizdrahtes zu vermeiden), kann aber leicht bis auf ein paar Grad eine gewünschte Temperaturerniedrigung erzielt werden. Die genaue Temperatur wird allemal mittels der elektrischen Heizvorrichtung eingestellt.

---

[1]) Nach den Untersuchungen W. Hempel's (*Ber. d. Deutsch. Chem. Ges.* **31.** *S. 2993. 1898*) sollen zwar Eiderdaunen und trockne Wolle so vorzügliche Wärmeisolatoren sein, „dass sie wahrscheinlich nur von den besten Dewar'schen Röhren im Wärmeisolirungsvermögen erreicht werden". Doch ist dabei zu bemerken, dass die von Hempel untersuchten Vakuumgefässe wahrscheinlich unversilbert waren.

[2]) Die Glasgefässe (inneres wie äusseres) sind vom Glasbläser Hrn. R. Burger in Berlin geliefert. Die immerhin ungewöhnlich grossen Dewar'schen Zylinder sind vorzüglich evakuirt; vor dem Auspumpen sind sie im Kühlofen einer Thüringer Glashütte ausgekühlt worden. Ihre Haltbarkeit scheint dadurch zwar vermehrt worden zu sein; denn ein Zerspringen eines solchen Gefässes ist nur einmal vorgekommen, als ein hineingestelltes kleineres Dewar'sches Gefäss explodirte; immerhin ist aber Vorsicht bei derartigen Arbeiten mit Vakuumgefässen geboten.

In den meisten Fällen wird man für eine Versuchsreihe mit dem Thermostaten nur ein beschränktes Quantum flüssiger Luft zur Verfügung haben. In Rücksicht auf die dann gebotene Sparsamkeit sei noch Folgendes bemerkt. Nur zur schnelleren Abkühlung des Thermostaten ist es nothwendig, den Zwischenraum zwischen den beiden doppelwandigen Gefässen in der ganzen Höhe mit flüssiger Luft anzufüllen. Ist aber einmal erst die gewünschte tiefe Temperatur erreicht, bei welcher beobachtet werden soll, so genügt ein wenige Zentimeter hoher Rest, um unter Zuhülfenahme der Heiz- und Rührvorrichtung die Temperaturkonstanz herbeizuführen. Nach geschehener Beobachtung wird, wenn eine weitere Temperaturerniedrigung stattfinden soll, flüssige Luft nachgefüllt und die Abkühlungsvorrichtung in Thätigkeit gesetzt. Aus ökonomischen Gründen ist es ferner zweckmässig, während der Abkühlung des Apparats das Rührwerk stehen zu lassen, damit durch die Stange nicht unnöthig Wärme zugeführt wird; in tieferen Temperaturen ist jedoch Vorsicht geboten, weil der Rührer gern festfriert; kurzes Einschalten des Heizstromes hilft dann.

Wenn die Beobachtungen ohne Unterbrechung stattfanden, reichten 4 *l* flüssige Luft für einen etwa zehnstündigen Gebrauch des Apparats.

(Fortsetzung folgt.)

Der Hammer-Fennel'sche Tachymetertheodolit zur unmittelbaren Lattenablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied.

Von
Prof. Dr. **E. Hammer** in Stuttgart.

In *dieser Zeitschr.* ***18.*** *S. 241. 1898* habe ich den Entwurf eines neuen Tachymetertheodolits veröffentlicht, der ermöglichen sollte, aus den Ablesungen an einer *vertikal* aufgestellten Latte, die nur *einmal* angezielt werden darf, ohne Ablesung des Höhenwinkels der Zielung, ohne besondere Einstellungen am Instrument und ohne nachträgliche Rechnung die horizontale Entfernung zwischen Instrument und Latte und den Höhenunterschied zwischen Kippachse und Lattenstandpunkt zu bestimmen.

Nach dem *a. a. O.* aufgestellten Programm sollte „dabei das Instrument kein Präzisionsinstrument, nicht für die Präzisionstachymetrie bestimmt sein, sondern nur den Anforderungen der topographischen Tachymetrie gerecht werden, nämlich die Entfernungen mit einem Fehler von etwa $^1/_{300}$, die Höhenunterschiede mit einem Fehler von wenigen *dm* bei den üblichen Ziellängen und Höhenunterschieden liefern“.

Es sind *a. a. O.* auch bereits einige Versuchsmessungen mit dem damaligen Modell angegeben, das die Aufgabe durch die vom Fernrohrkippen bewirkte rein mechanische Hin- und Herschiebung eines Diagrammschlittens zu lösen suchte. Es zeigte sich aber bald die Berechtigung meiner gleichzeitig ausgesprochenen Zweifel, ob durch eine solche Verschiebung das Ziel dauernd sich werde erreichen lassen (vgl. auch mein Referat in *dieser Zeitschr.* ***19.*** *S. 377. 1899*). Wenig später konnte ich die Ausführung einer vermuthlich befriedigenden Konstruktion in nahe Aussicht stellen (*diese Zeitschr.* ***20.*** *S. 335. 1900*) und im Juni 1900 ist es in der That Hrn. A. Fennel gelungen, für die optische oder optisch-mechanische Verschiebung des Diagramms eine Einrichtung herzustellen, durch die ich die Aufgabe für gelöst halte.

In einem bald darauf folgenden Aufsatz, der in *dieser Zeitschr.* ***20.*** *S. 32. 1900* und mit geringen Aenderungen auch an zwei andern Stellen, *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 153. 1901* und *Zeitschr. f. Archit. u. Ingenieurwesen* (*Hannöv. Zeitschr. Heft 2. 1901*) veröffentlicht wurde, habe ich, ohne eine eingehendere Beschreibung des neuen Instru-

ments beizufügen, die Ergebnisse von Versuchsmessungen mit dem ersten fertigen Exemplar veröffentlicht. Die erste kurze Notiz über das Instrument selbst (unter Verweisung auf eine bevorstehende Schrift von mir) war die „Vorläufige Mittheilung über den H.-F.'schen Tachymetertheodolit", die Hr. Fennel in der *Bauingenieurzeitung Nr. 47. 1901* erscheinen liess; einige Wochen später erschien die unten zitirte Schrift des Verfassers[1]).

Auf Wunsch der Redaktion möchte ich auch hier in einer kurzen Notiz über das Instrument berichten, indem ich für eingehendere Beschreibung, besonders Anweisung zur Rektifikation u. s. w. auf die eben genannte Broschüre hinweise. Ich beschränke mich hier überhaupt auf die wesentlichsten Einrichtungen, lasse also Alles unerörtert, was an andern Tachymeter-Instrumenten in derselben Art wiederkehrt oder wiederkehren kann. Es steht z. B. selbstverständlich nichts im Wege, auch das

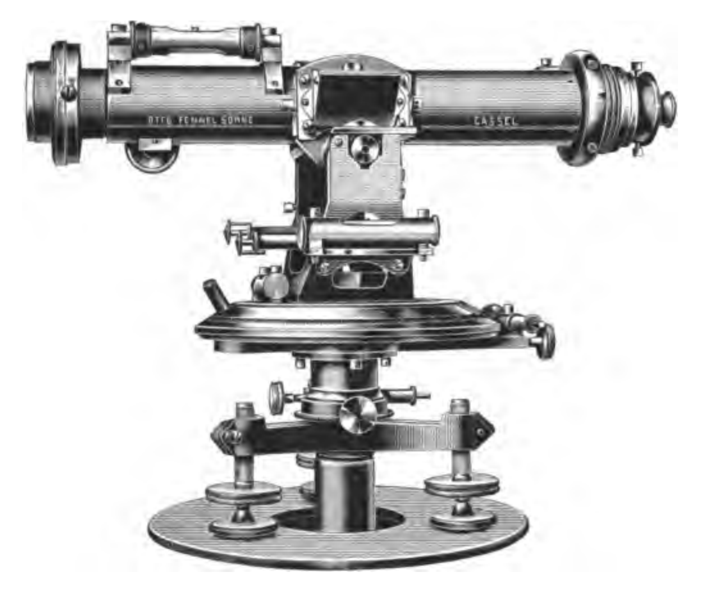


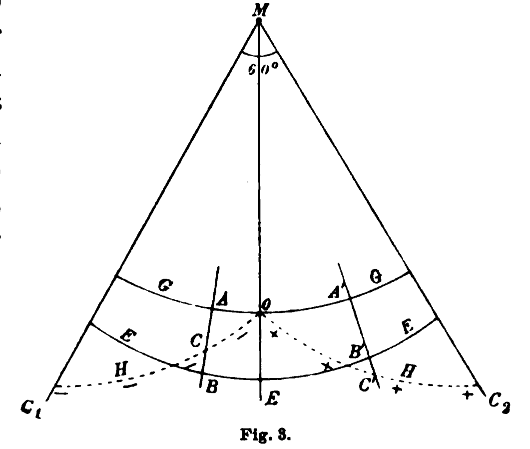
Fig. 1.

neue Instrument mit einem Höhenkreis auszurüsten; er ist für den nächsten Zweck des Instruments nicht erforderlich, kann aber wünschenswerth sein, um sich auf freiem Feld der Höhe nach über gegebene Höhenpunkte rückwärts einschneiden zu können; oder es kann eine Bussole, rund mit Gradtheilung oder in Kästchen- oder Röhrenform zur Orientirung der Theilung des Horizontalkreises, beigegeben werden, die zwar meiner Ansicht nach für tachymetrische Messung auf freiem Feld — und für Tachymeterzüge im Wald u. s. w. ist das neue Instrument nicht bestimmt — ziemlich entbehrlich ist; der Horizontalkreis kann auf die verschiedenste Art ausgebildet werden, z. B. mit verschiedenen Ablesevorrichtungen versehen oder nach v. Ziegler-Hager zum kleinen runden Messtisch, nach Puller zum Messtisch-Horizontalkreis gemacht werden u. s. w. Alles dies soll, wie gesagt, als hier unwesentlich ausser Betracht bleiben.

Eine Ansicht der äussern Form des Instrumentes giebt Fig. 1, von der die neueste Form freilich bereits wieder ziemlich abweicht, doch nicht gerade in äusser-

[1]) Hammer, Der H.-F.'sche Tachymetertheodolit und die Tachymeterkippregel zur unmittelbaren Lattenablesung von Horizontaldistanz und Höhenunterschied (D. R. P. Nr. 122901). gr. 4°. 52 S. m. 16 Fig. u. 2 lith. Taf. Stuttgart, K. Wittwer 1901. 2,80 M.

lich hervortretenden Theilen. Ein Höhenkreis ist, wie die Figur zeigt, zunächst nicht vorhanden, aber für die Hauptanwendung des Instruments unnöthig. Das Metallplättchen vorn über der Kippachse trägt innen einen Spiegel zur Beleuchtung des auf einer Glasplatte aufgetragenen (und selbstverständlich gut geschützten) *Diagramms*. Dieses Diagramm sieht aus, wie die schematischen Fig. 2 und 3 andeuten: die Grundkurve oder Nullkurve GG (Fig. 3) ist ein Kreisbogen von 30 *mm* Halbmesser und im Ganzen 60° Zentriwinkel, dessen Mittelpunkt M (auf dem Glasplättchen nicht mehr vorhanden, vgl. Fig. 2, die oben und unten die zwei Zentrirmarken andeutet) genau in die Kippachse des Fernrohrs fallen muss. Das Diagramm enthält ferner



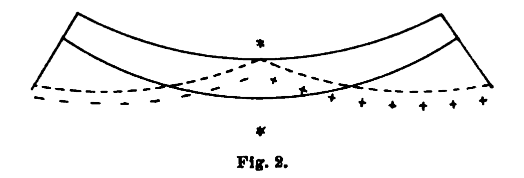


Fig. 2.

Fig. 3.

zwei Kurven, die *Entfernungskurve* EE, wie GG ganz ausgezogen, und ihren Abstand von G von der Mittellinie MO aus, wo er am grössten ist, nach beiden Seiten hin sehr langsam verringernd, sodann die zweitheilige *Höhenkurve* HH, deren beide Flügel vom *Hauptpunkt* O ausgehen und mit den Vorzeichen — — — und + + + bezeichnet sind.

Das Diagramm, nach der Berechnung und Originalzeichnung (20-mal vergrössert) des Verfassers hergestellt (photographisch auf das Glasplättchen gebracht; über die Vorsichtsmaassregeln dabei vgl. *S. 14* der oben zitirten Schrift), steht mit seiner Ebene

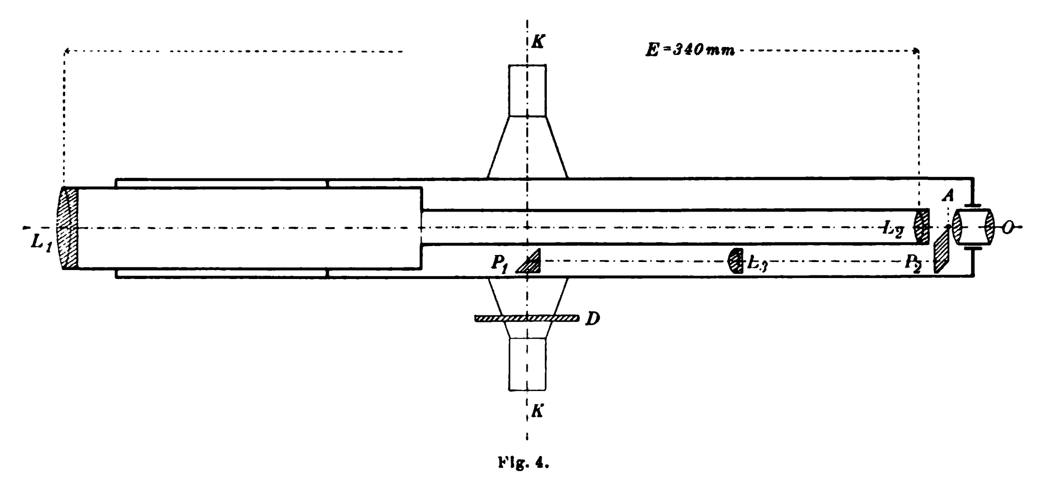


Fig. 4.

senkrecht zur Kippachse und ist am Fernrohrträger so befestigt, dass die Mittellinie senkrecht zur Kippachse liegt. Es wird im Gesichtsfeld des Porro'schen Fernrohrs sichtbar gemacht durch ein besonderes Prismenrohr mit Linse, das der weite Mantel des Fernrohrs mit umschliesst; es wird an dem Diagramm die *Ablesekante* des Prismas im Fernrohrokular durch die Kippbewegung des Fernrohrs gleichsam vorbeigeführt. Das Prismenrohr besteht nämlich aus drei Theilen, einem dem Diagrammglas unmittelbar gegenüberstehenden hohen Prisma, einem zweiten Prisma im Fern-

rohrokular und einer zwischen beiden befindlichen Konvexlinse. Diese ganze Anordnung ist in Fig. 4 schematisch angedeutet.

Die zwei Prismen sind P_1 und P_2, die Konvexlinse zwischen beiden (Achromat) ist L_3. Die zwei Linsen L_1 ($f = 350$ *mm*) und L_2 ($f_1 = 220$ *mm*) (jede achromatisch) im konstanten Abstand $E = 340$ *mm* von einander sind die zwei Theile des Porro'schen Fernrohrobjektivs. Dieses Objektivsystem $L_1 L_2$ entwirft ein reelles Bild der Latte, auf die das Fernrohr gerichtet ist; das Bild wird durch das Okular O (Doppellupe) vergrössert. In derselben Bildebene entwirft L_3 das Bild eines Theils des Diagramms D, das gleichzeitig durch O betrachtet wird. Die beiden Hälften des Gesichtsfelds sind durch die die Ziellinie des Fernrohrs senkrecht schneidende *Kante A des Prismas* P_2, die als Vertikalfaden dient, getrennt; in der linken Hälfte des Gesichtsfelds erscheint ein Theil des Diagrammbilds, in der rechten Hälfte das Bild der Latte. Das ganze Gesichtsfeld bietet also bei einer bestimmten Neigung des Fernrohrs etwa den Anblick der schematischen Fig. 5 dar. Die Linie NN ist ein fester, im Bildfeld ausgespannter Horizontalfaden oder Nullfaden. Die Zielung über diesen Faden weg soll bei einspielender Nivellirlibelle auf dem Fernrohr dem Höhenwinkel 0, horizontaler Zielung, entsprechen und es soll dann die Mittellinie des Diagramms in die Ablesekante fallen. Beim Kippen des Fernrohrs nach oben oder nach unten von der Horizontalen aus scheint sich das Diagramm im Gesichtsfeld nach rechts oder links zu verschieben, sodass der Vertikalfaden, d. h. hier die Ablesekante stets an einer neuen Stelle des Prismas erscheint, je nachdem die Kippbewegung an der einen oder andern Stelle, bei dem und dem positiven oder negativen Höhenwinkel gehemmt wird. Die Verschiebung des Diagrammbildes durch das Kippen des Fernrohrs erfolgt völlig selbstthätig ohne irgendwelchen Handgriff oder irgendwelche Einstellung am Instrument; es entspricht einfach dem Vorbeigleiten der Theilung des Höhenkreises am Nonius-Index bei dem gewöhnlichen Tachymetertheodolit mit Höhenkreis. Damit, dass das erste, dem festbleibenden Diagramm gegenüberstehende Prisma P_1 jede Kippbewegung des Fernrohrs, in dem es festsitzt, mitmacht, kommt bei jedem bestimmten Höhen- oder Tiefenwinkel des Fernrohrs ein anderer bestimmter Theil des Diagrammplättchens zur Abbildung und ein ganz bestimmter Radialstrich im Diagramm an die die Stelle des Vertikalfadens vertretende Kante des Prismas P_2 im Gesichtsfeld. Z. B. bringt die Neigung des Fernrohrs von -10^0 den Halbmesser ABC (Fig. 3), die Neigung $+17^0\,30'$ den Halbmesser $A'B'C'$ in die Ablesekante u. s. f. Die beiden äussersten Radialstriche des Diagramms entsprechen den Höhenwinkeln $+30^0$ und -30^0: wenn der Halbmesser MC_1 (Fig. 3) in der Ablesekante erscheint, so muss die Ablesung über N dem Tiefenwinkel 30^0 entsprechen, wenn MC_2 in der Prismenkante liegt, so muss die Zielung über N den Höhenwinkel 30^0 haben. Ueber diese extremen Werthe hinaus ist das Instrument nicht mehr wirksam. Die Höhenlinie HH liesse sich auch weiter gar nicht ins Gesichtsfeld hereinbringen (bei den gewählten Konstanten), weil dieses nicht weiter vergrössert werden kann; wohl aber liesse sich die Entfernungskurve EE noch beliebig weit fortsetzen, doch kommen ja Höhenwinkel $> +30^0$ oder $< -30^0$ so gut wie nie vor.

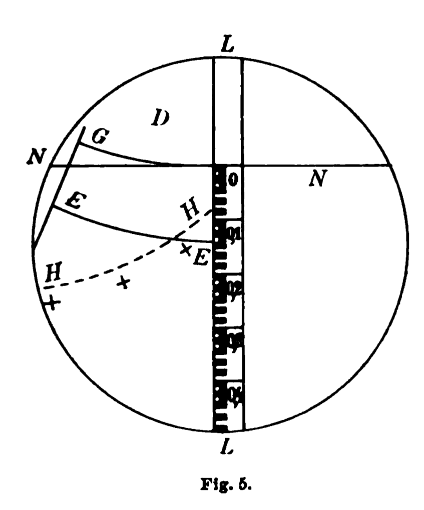


Fig. 5.

Das Diagramm muss sich (scheinbar) beim Kippen des Fernrohrs so verschieben, dass der Grundkreis G stets den festen Nullfaden N berührt: bei jeder beliebigen Neigung des Fernrohrs muss ein Punkt von G im Schnittpunkt des Fadens N mit der Ablesekante sich befinden. Liegt die Zielung über N *horizontal*, so muss der Hauptpunkt O des Diagramms (Fig. 2 und 3) im Schnittpunkt von N und der Ablesekante erscheinen.

Die Wirkungsweise des Instruments soll nun folgende sein. Der Nullpunkt an der Latte liegt in der gewöhnlichen Höhe der Kippachse des auf dem Stativ aufgestellten Instruments über dem Boden 1,40 *m*. Die Latte sei auf einem beliebigen aufzunehmenden Punkt vertikal aufgestellt. Das Fernrohr wird so gekippt, dass der feste Nullfaden N in der Nähe des Lattenmittelpunkts (Marke) erscheint; N wird mit der Feinschraube der Höhenbewegung scharf auf den Lattennullpunkt gestellt. Das Bild im Fernrohr sei nun z. B. das der Fig. 5, einem *höher* als der Standpunkt des Instruments liegenden Lattenstandpunkt entsprechend; linke Hälfte des Gesichtsfelds Theil des Diagrammbilds D, rechte Hälfte hart daneben Lattenbild LL. Der Nullpunkt der Lattentheilung, die *Marke*, auf die N eingestellt wird, ist in der Figur *nicht* besonders bezeichnet, wohl aber, wie angedeutet, an der Latte, was die Einstellung erleichtert. An der Ablesekante erscheine nun (vgl. Fig. 5) am Schnittpunkt der „Entfernungskurve“ EE (ganz ausgezogen) mit der Prismenkante als Lattenablesung die Zahl 0,140, am Schnittpunkt der „Höhenkurve“ HH (gestrichelt) mit der Prismenkante dagegen zeige die Lattentheilung die Zahl 0,080. Mit dieser Zahl ist zugleich ihr Vorzeichen abzulesen, im hier angenommenen Fall +. Das Diagramm ist nun so berechnet, dass die *erste* Zahl mit 100, der *Entfernungskonstanten*, multiplizirt die Horizontaldistanz, die *zweite* Zahl mit 20, der *Höhenkonstanten*, multiplizirt den Höhenunterschied zwischen Instrumentenstandpunkt und Lattenaufstellungspunkt giebt; d. h. es wäre im angenommenen Beispiel

$$\text{Horizontaldistanz } e = 100 \cdot 0{,}140 = 14{,}0\ m$$
$$\text{Höhenunterschied } h = +20 \cdot 0{,}080 = +1{,}60\ m.$$

Diese *Konstanten*, 100 für die horizontalen Entfernungen und 20 für die Höhenunterschiede, haben sich bei den möglichen Abmessungen des Fernrohrs (Vergrösserung, Gesichtsfeld u. s. f.) und mit Rücksicht auf die *Praxis* als die zweckmässigsten gezeigt. Bei einer 4,4 *m* langen Latte beherrscht man damit Horizontaldistanzen bis gegen 300 *m* (gleich 100 (4,4 — 1,4)) und Höhenunterschiede bis gegen 60 *m*.

Auf die Berechnung des Diagramms, auf die Rektifikation des ganzen Instruments, auf die zusammen mit ihm zu verwendenden Latten (*cm*-Latte für kleinere Entfernungen, *dm*- oder $^1/_2$ *dm*-Latte für grössere Entfernungen, wie sie bei der topographischen Tachymetrie häufig vorkommen) u. s. w. gehe ich hier nicht ein.

Auch über die mit den zwei ersten fertigen Exemplaren des Instruments von mir und Andern ausgeführten *Genauigkeitsversuche* ist die oben zitirte Schrift nachzusehen; es genüge hier die Bemerkung, dass bei den gewöhnlich vorkommenden Zielungen bis zu 250 *m* und Höhenwinkeln bis zu einigen 20^0 (für kleinere Entfernungen) die Fehler in den horizontalen Entfernungen nicht über einige *dm* und ebenso die Fehler in den Höhenunterschieden nicht über 0,1 bis 0,2 *m* hinausgingen, sodass also in der That den bei der topographischen Tachymetrie zu stellenden Genauigkeitsansprüchen genügt ist. Dabei ersparen die runden Konstanten $C_1 = 100$ und $C_2 = 20$, die sich durch die Justirvorrichtungen genau auf diese Beträge bringen lassen, jede Rechnung, und, um diesen wesentlichen Punkt zu wiederholen, die Ablesungen l_1 und l_2 an der Latte für Entfernung und Höhe werden nach *einmaliger*

Einstellung des Fernrohrs auf die Latte und ohne irgendwelche besondere Einstellung durch Schrauben o. dgl. am Instrument selbst, *zusammen* im Gesichtsfeld des Fernrohrs an automatisch sich herstellenden Punkten abgelesen.

Der mir ausgesprochene Wunsch, neben die Entfernungskurve für $C_1 = 100$ (und neben die Höhenkurve für $C_2 = 20$) auch noch eine zweite Entfernungskurve für $C_1' = 200$ in das Diagramm aufzunehmen, liesse sich leicht erfüllen; doch ist es auch nicht ohne Bedenken, das Diagramm mit einer weitern Linie zu versehen, weil es dadurch leicht weniger *übersichtlich* wird, man weniger sicher und rasch abliest und Versehen ausgesetzt ist.

Dass ferner die ersten Exemplare des Instruments etwas schwer ausgefallen sind, ist richtig; es hat dies in der besondern Art der Fernrohrkonstruktion seinen Grund, sowie in der Nothwendigkeit, mit allen Mitteln für gesicherte Lage des Diagramms und aller Theile des Prismen- und Fernrohrs gegen einander zu sorgen. Doch wird künftig dem etwas zu grossen Gewicht durch Anwendung von Magnalium und Aluminium abgeholfen werden.

Eine vielleicht noch etwas verfrühte (und einer Angabe im Vorwort der angezeigten Schrift, „*grosse* Veränderungen stehen dem Instrument jedenfalls so bald nicht mehr bevor“ einigermaassen widersprechende) Notiz möchte ich trotzdem nicht unterlassen beizufügen: es wird wohl gelingen, die Prismenkante, die sehr schwer so genau bearbeitet herzustellen ist, dass das kräftige Okular nicht kleine Aussprünge am Glas zeigt, ganz zu beseitigen und das ganze Gesichtsfeld des Fernrohrs für das Lattenbild frei zu lassen. Es wäre dies ein sehr willkommener Fortschritt, wenn auch schon jetzt die Bequemlichkeit der Arbeit mit dem Instrument, den ältern Konstruktionen gegenüber, nicht gering ist.

Ich gebe mich über den praktischen Werth unseres Instruments keinen Illusionen hin; aber so einfach auch die Handhabung aller der vielen vorhandenen Rechenhülfsmittel für die bei den alten Tachymeterfernrohren zu benutzenden Gleichungen

$$e = E \cdot \cos^2 \alpha$$

$$h = e \cdot \operatorname{tg} \alpha = E \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha$$

ist, so rasch ferner bei den gewöhnlichen Tachymetern die Lattenablesungen und die Ablesung des Höhenwinkels am Instrument sich folgen können, so beweist doch die Aufstellung immer neuer solcher Rechenhülfsmittel und das unablässige Streben nach „selbstrechnenden“ Tachymetern, dass ein Instrument, das diese Aufgabe wirklich löst, d. h. jene Rechnungshülfsmittel überhaupt ganz *überflüssig* macht, und das dabei die Ablesungen nicht weniger bequem, sondern bequemer macht als bisher, willkommen sein wird.

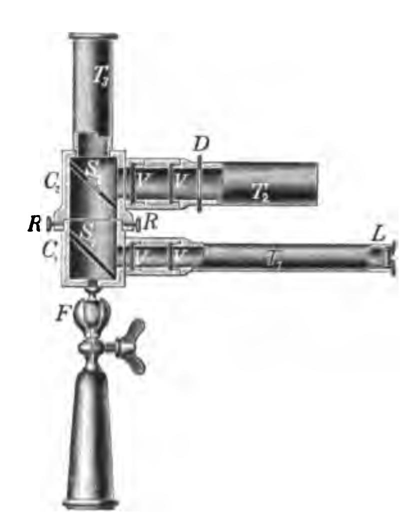
Referate.

Verhältniss der Lichtstärken von Sonne und Himmel.

Von Q. Majorana. *Phil. Mag.* **1.** *S. 555. 1901.*

Zur Bestimmung des Verhältnisses r der Lichtstärken von Sonne und Himmel dient das in der nebenstehenden Figur abgebildete, sehr einfache Himmel-Photometer. Die beiden auf die Sonne bezw. den Himmel zu richtenden Rohre T_1 und T_2 sind auf den hohlen Zylindern C_1 und C_2 montirt. C_2 lässt sich auf C_1 drehen und mittels der Schrauben R in jeder gewünschten Lage festklemmen. Das Photometer ist mit dem Stativ durch das Kugelgelenk F verbunden, sodass gleichzeitig T_1 auf die Sonne und T_2 auf eine beliebige Stelle

des Himmels gerichtet werden kann. C_2 trägt zugleich das Okularrohr T_3. Das Sonnenlicht fällt durch ein Diaphragma von etwa 1,5 *mm* Durchmesser auf die Linse L von im Verhältniss zur Rohrlänge geringer Brennweite, hierauf auf die beiden Mattglasplatten V und den Spiegel S_1. Das am freien Ende völlig offene Rohr T_2 ist mit einer Irisblende D versehen, die das einfallende Licht beliebig zu schwächen gestattet. Das durch D tretende Licht fällt nach Durchgang durch die Mattglasplatten V auf den in der Mitte mit einem Loch versehenen Spiegel S_2. Das durch T_3 auf S_2 sehende Auge erblickt dann das vom Himmel beleuchtete azurne Feld und in seiner Mitte eine elliptische röthliche Stelle, die ihr Licht von der Sonne empfängt. Durch Drehen des die Irisöffnung regulirenden Ringes stellt man auf gleiche Helligkeit der beiden Felder ein. Zu jeder Stellung der Irisblende gehört demnach ein bestimmter Werth für das Verhältniss der Lichtstärken der Sonne und eines entsprechenden Stückes von etwa 32′ des Himmels. Die erforderliche Aichung kann in einfacher Weise mit Lichtquellen von bekannter Lichtstärke erfolgen.



Von den mit diesem Instrument erhaltenen Resultaten werden die folgenden mitgetheilt. Zu Catania, am Fusse des Aetna auf Sizilien, war an einem August-Tage um 11^h a. m.

in der unmittelbaren Nachbarschaft der Sonne	r = 357 000
in den von der Sonne um 90° entfernten Richtungen	r = 950 000
am Horizont	r = 98 000
für eine weisse Wolke	r = 18 000.

Ebenda war am 5. August 1899

um 6^h a. m.	r = 175 000	um 12^h	r = 950 000
„ 7 „ „	r = 250 000	„ 3 p. m.	r = 870 000
„ 8 „ „	r = 489 000	„ 5 „ „	r = 563 000
„ 10 „ „	r = 935 000	„ 6 „ „	r = 225 000

und zwar für die dunkelste Stelle des Himmels, die von der Sonne um 90° entfernt war.

Die vom 8. bis 13. August 1899 auf dem 2942 *m* hoch gelegenen Aetna-Observatorium ausgeführten Beobachtungen ergaben dagegen für den ganzen Himmel, abgesehen in der Nähe des Horizonts, konstante Werthe von r, die sich wieder mit der Tageszeit änderten, so z. B. am 11. August 1899 folgendermaassen:

um 6^h a. m.	r = 2 570 000
„ 7 „ „	r = 3 125 000
„ 8 „ „	r = 3 650 000
„ 9 „ „	r = 3 930 000
„ 11 „ „	r = 3 760 000.

Schck.

Ueber zwei einfache Methoden, Refraktometerkreise zu kalibriren.

Von V. H. Veley und J. J. Manley. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 575. 1901.*

Im ersten Falle wird ein Normal-Winkel, mit dem die verschiedenen Theile des Kreises verglichen werden, durch die Achse eines fest aufgestellten Fernrohrs und die Halbirende des Winkels dieser Achse mit der eines zweiten Fernrohrs gebildet; ein auf dem Prismentischchen befestigter Spiegel wird nach einander durch Drehen des Theilkreises senkrecht zu den Schenkeln des festen Winkels gestellt. Im zweiten Falle ist der Winkel durch die Achse des Instruments und zwei an einer entfernten Wand mit geschwärzten Seidenfäden aufgehängte Bleilothe bestimmt; zur Hemmung der Schwingungen tauchten die Bleikugeln

in mit Oel gefüllte Gefässe. Das Fernrohr wird auf das erste Bleiloth gerichtet, mit dem Kreise gedreht, bis es auf das zweite zielt, abgeklemmt und in die erste Stellung zurückgedreht u. s. f. *A. K.*

Apparat zur scharfen Einstellung des Projektions-Mikroskopes aus einiger Entfernung.

Von W. J. Moll. *Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie* **17.** *S. 129. 1901.*

Zur Einstellung auf Schärfe benutzt der Verf. statt der Mikrometerschraube, welche bei dem zur Verfügung stehenden, von Newton & Co. in London gelieferten Mikroskop nicht besonders genau arbeitete, die Verschiebung des Okulars gegen das Objektiv. Zu dem Zweck ist der Okulartubus auf einen besonderen Schlitten gesetzt, der mittels eines Schnurlaufs bewegt wird, der an der Projektionswand hinauf, unter der Decke hinweg nach dem Projektionsapparat geleitet ist. Bezüglich der Einzelheiten der mechanischen Ausführung, die kein allgemeineres Interesse bieten, mag auf die Abhandlung selbst verwiesen werden. *A. K.*

Ueber die Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades von Kraftmaschinen.

Von R. Franke. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 887. 1901.*

Die Arbeit enthält eine historische und kritische Betrachtung der Apparate und Methoden, die zur Messung und Darstellung des Ungleichförmigkeitsgrades von Maschinen während einer Umdrehung ersonnen worden sind. Dazu treten einige Apparate und Methoden, die von dem Verfasser selbst herrühren und im Folgenden beschrieben werden sollen.

a) Es sei A (Fig. 1) eine auf die Achse der zu untersuchenden Maschine gesetzte Schnurscheibe, die durch das Seil S mit der schweren, gleichmässig rotirenden Schwungmasse B verbunden ist; das Seil läuft über die festen Rollen $R_1 R_2 R_3 R_4$ und die losen Rollen C und D, welche durch eine Stange E mit fester Führung unter einander verbunden

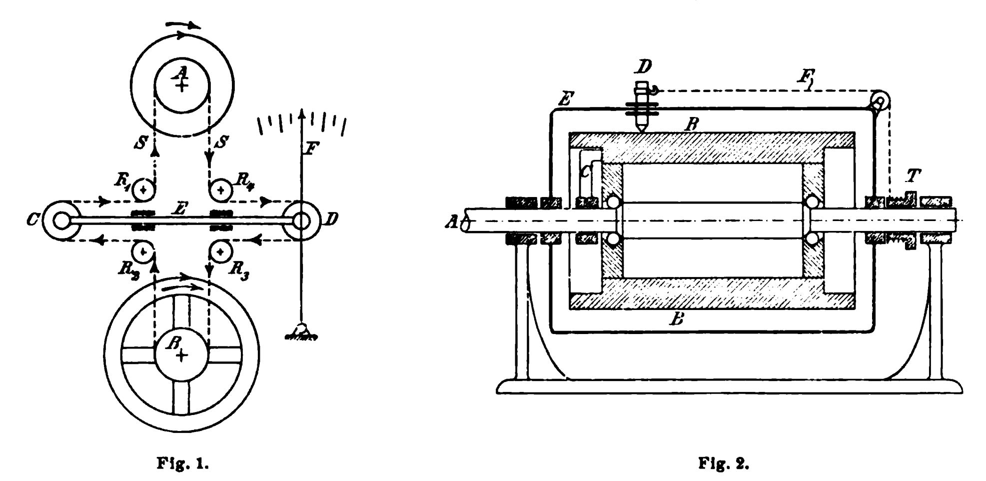


Fig. 1. Fig. 2.

sind. Eilt z. B. A gegenüber B vor, so muss sich CD in Richtung von C nach D verschieben. Mit Hülfe eines in F befestigten Stiftes und einer darunter hinweg bewegten Trommel kann man die Ungleichförmigkeit der Bewegung aufzeichnen.

b) Der zweite von Franke beschriebene Apparat ist eine Modifikation eines von Göpel in der Phys.-Techn. Reichsanstalt konstruirten, bisher noch nicht veröffentlichten Apparates. Die horizontal gelagerte Welle A (Fig. 2) ist mit der zu untersuchenden Maschine in Verbindung gesetzt; eine schwere zylindrische Schwungmasse B ist durch ein Kugellager um A leicht drehbar. Zunächst wird B durch einen ausrückbaren Mitnehmer C auf die mittlere Geschwindigkeit von A gebracht und dann sich selbst überlassen, sodass sie mit dieser Geschwindigkeit gleichförmig weiter rotirt. Mit der ungleichförmig rotirenden Welle A ist starr

ein Bügel E verbunden, auf dem ein Stift D entlang gleitet. Durch ein passendes, mit der Maschine verbundenes Rädervorgelege wird im geeigneten Augenblick die Trommel T gedreht; dadurch wird der Faden F aufgewickelt und der Bleistift D zeichnet die Ungleichförmigkeit auf ein um B gelegtes Papier. Der Göpel'schen Konstruktion gegenüber hat nach Angabe des Verf. dieser Apparat den Vortheil, dass er ohne elastische Zwischenstücke mit der zu prüfenden Maschine gekuppelt werden kann und dass die Ordinaten der Ungleichförmigkeitskurve auf der ganzen Länge denselben Maassstab besitzen.

c) Um den Ungleichförmigkeitsgrad genauer, als die bisherigen Methoden gestatten, zu bestimmen, setzt Franke auf die Welle der zu untersuchenden Maschine eine kleine Gleichstrommaschine mit konstanter Magneterregung, deren elektromotorische Kraft somit in jedem Augenblick der jeweiligen Geschwindigkeit proportional ist. Verbindet man mit der Maschine eine Gegenspannung, welche der mittleren elektromotorischen Kraft der Maschine entspricht, so bleiben nur die dem Ungleichförmigkeitsgrad entsprechenden Spannungsschwankungen übrig, die man z. B. mit einem Oszillographen (vgl. *diese Zeitschr.* **21.** *S. 239. 1901*) messen kann. Will man aber diese Spannungsschwankungen mittels Augenblickskontakt und Joubert'scher Scheibe aufzeichnen, so muss man darauf Rücksicht nehmen, dass die Zeit einer Umdrehung nicht konstant zu bleiben pflegt. Diesen Einfluss kann man durch folgendes Verfahren eliminiren. Die kleine Gleichstrommaschine ist durch die beiden parallel geschalteten hohen Widerstände W_1 und W_2 (Fig. 3) geschlossen. Die Gegenspannung E_1 wird im Augenblick, wo die Joubert'sche Scheibe J den Kontakt herstellt, gegen den Spannungsabfall in W_1 kompensirt. Der Spannungsabfall in W_2 wird durch E_2 kompensirt. Das Galvanometer G_2 kontrolirt die Konstanz der Tourenzahl; ist G_2 stromlos, so können durch Verändern des Augenblickkontaktes die einzelnen Punkte der Ungleichförmigkeitskurve aufgenommen werden. Bei dieser Methode ist noch zu berücksichtigen, dass auch bei vollständig gleichförmiger Geschwindigkeit die Spannungskurve von A keine gerade Linie ist. Die Spannungskurve bei vollständig gleichförmiger Bewegung von A muss besonders bestimmt und bei den Bestimmungen von Ungleichförmigkeitsgraden in Rechnung gezogen werden.

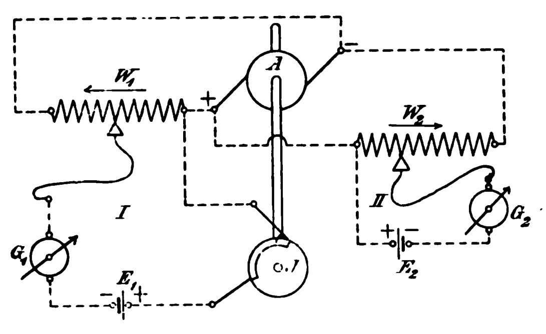


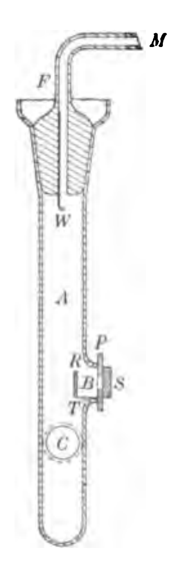
Fig. 3.

E. O.

Neue Radiometerform.

Von F. A. Saunders. *Astrophys. Journ.* **14.** *S. 136. 1901.*

Das Radiometer von Saunders zeichnet sich dem Nichols'schen gegenüber (vgl. *diese Zeitschr.* **17.** *S. 123. 1897*) dadurch aus, dass das Vakuum länger erhalten bleibt, dass der Einfluss statischer Ladungen möglichst beseitigt ist und dass man die Aufhängung des beweglichen Systems drehen kann. Der Apparat ist aus einer Glasröhre A hergestellt, welche rechtwinklig zu einander zwei Oeffnungen B und C besitzt. Die Oeffnung C, deren Ränder abgeschliffen sind, ist durch eine Linse verschlossen. Hinter der Linse ist der Spiegel am beweglichen System befestigt; durch die Linse wird das Bild eines Spaltes für die objektive Ablesung entworfen. Auf die Oeffnung B ist eine Messingplatte gekittet; ein kleines, rundes Loch in dieser Platte ist durch eine Steinsalzplatte S verschlossen. Ein schmaler Streifen aus Metallblech T trägt die Steinsalzplatte R; dahinter befinden sich in einer für die grösste Empfindlichkeit erforderlichen Entfernung die Flügel des Radiometers; spitze und zugeschärfte Metallstreifen, die mit P metallisch verbunden sind, sorgen für die Zerstreuung und Entladung der statischen Elektrizität.

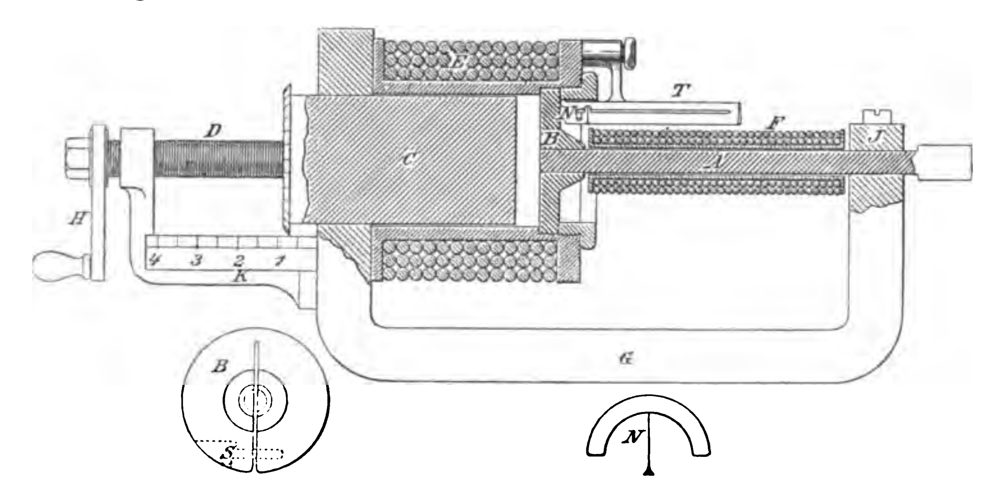


Die Radiometerflügel sind mittels eines feinen Quarzfadens am Draht *w* aufgehängt; der Draht *w* ist in dem zur Luftpumpe führenden Rohr *F* befestigt, das zentral durch einen Glasstopfen mit Quecksilberdichtung führt. Die Dichtung ist so wirksam, dass das Vakuum im Radiometer länger als einen Monat hinreichend gut bleibt; man kann deshalb die Röhre von der Luftpumpe vollständig trennen und nunmehr durch Drehen des Glasstopfens *F* den Spiegel in eine geeignete Lage bringen. Bei den Beobachtungen stand der Apparat in einer Julius'schen Aufhängung. *E. O.*

Apparat zur Messung der Permeabilität von Stahl und Eisen.

Von C. G. Lamb und M. Walker. *The Electrician* **47.** *S. 263. 1901; Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 967. 1901.*

Der Apparat von Lamb und Walker beruht auf der Vergleichung der Permeabilität einer Eisensorte mit derjenigen einer variablen Luftstrecke. Die zu untersuchenden Proben sind etwa 18 *cm* lang und haben einen Durchmesser von etwa 10 *mm*. Das eine Ende der Probe *A* wird gut passend in eine kreisrunde Oeffnung des eisernen Kopfes *B* hineingesteckt; der Kopf *B* hat einen radialen Schnitt, der nach dem Einstecken des Stabes *A* mit einer Schraube *S* zusammengezogen wird (vgl. die Figur links unten); das andere Ende des Stabes wird durch Aufschrauben des Blockes *J* mit dem Joch *G* fest verbunden. Dem Kopf *B* konzentrisch gegenüber steht ein eiserner Zylinder *C*, der gut passend durch ein Loch des Joches *G* eingeschoben ist und durch die Mikrometerschraube *D* verstellt werden kann.



Zwei in Serie geschaltete Magnetisirungsspulen *E* und *F* von gleicher Windungszahl umgeben den Luftraum zwischen *C* und *B*, bezw. die Probe *A*. Besitzt nun der Luftraum eine solche Länge, dass seine Permeabilität dieselbe Grösse hat wie diejenige der Eisenprobe, so werden sämmtliche in *A* verlaufende Kraftlinien auch den Luftraum durchsetzen; mithin kann eine Magnetnadel *N* (vgl. die Figur unten), die in unmittelbarer Nähe des Kopfes *B* angebracht ist und deren Stellung durch einen langen Aluminiumzeiger abgelesen werden kann, keine Ablenkung zeigen.

Um den Apparat zu kalibriren, benutzen die Verfasser Stäbe aus verschiedenen Materialien, deren „Kommutirungskurve" vorher nach der Ewing'schen Doppel-Joch-Methode genau festgestellt worden war. Ein derartiger Stab wurde mit einer kleinen sekundären Spule umgeben und in den neuen Apparat gebracht. Mittels der sekundären Spule konnte direkt die Induktion $\mathfrak{B}$ im Stabe für jede Stromstärke $\mathfrak{J}$ in den Spulen *F* und *E* gemessen werden. Entnimmt man den Normalkurven die zugehörigen Werthe von $\mathfrak{H}$ (magnetisirende Kraft) und μ (Permeabilität), so kann man einmal den Zusammenhang zwischen $\mathfrak{J}$ und $\mathfrak{H}$ und andererseits zwischen μ und der Ablesung an der Mikrometerschraube in Koordinaten eintragen.

In Folge der mannigfachen Uebergangswiderstände im magnetischen Kreise des Apparates sind $\mathfrak{J}$ und $\mathfrak{H}$ nicht genau einander proportional. Die Kurve für die Permeabilität in ihrer Abhängigkeit von der Länge des Luftraumes erwies sich für weiches Eisen und Stahl als ziemlich gleich. *E. O.*

Neues Reichert'sches Schlittenmikrotom zum Schneiden unter Wasser.

Von J. Starlinger. *Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie* **17.** *S. 435. 1901.*

Bei diesem Schlittenmikrotom erfolgt die Hebung des Objektes durch Verschiebung des den allseitig justirbaren Objekthalter tragenden Schlittens auf einer zur Messerführung geneigten Bahn mittels einer Mikrometerschraube, deren Lager um 180° gedreht werden kann, um das Zurückdrehen der Mikrometerschraube entbehrlich zu machen, also nach dem zuerst von A. Becker in Göttingen angewendeten Prinzip. Der Objekthalter befindet sich in einem Metalltrog, die genaue Einstellung des Objektes wird jedoch von aussen her durch Organe bewirkt, die unterhalb des Troges auf dem Objektschlitten montirt sind. Das Messer ist mittels einer in der Mitte seines Rückens angebrachten Verstärkung an dem durch Kettenantrieb horizontal bewegten Messerschlitten befestigt. Seine Schneide ist horizontal, gegen die Führungsrichtung geneigt und kann mittels einer Kurbelschraube in die Höhe des Objektes eingestellt werden. Durch die gewählte Messerform, welche die Befestigung in der Mitte erlaubt, ist gegenüber der sonst üblichen Befestigung an einem Ende neben erhöhter Rigidität auch noch der Vortheil erzielt, dass der Trog, innerhalb dessen sich das Messer bewegen muss, erheblich kleiner werden kann. *P.*

Neu erschienene Bücher.

F. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 9. Aufl. des Leitfadens der prakt. Physik. gr. 8°. XXVII, 610 S. m. Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1901. Geb. in Leinw. 8,60 M.

Der bekannte Leitfaden der praktischen Physik, den der Verf. dem von ihm in den wissenschaftlichen Unterricht eingeführten physikalischen Praktikum zum Geleite auf seinem erfolgreichen Wege mitgab, hat mit seiner vorliegenden neunten Auflage eine Doppelexistenz begonnen; da das immer mehr anwachsende Material zu umfangreich für den Anfänger in physikalischer Praxis wurde, so ist vor Kurzem ein „kleiner Leitfaden" erschienen, der eine knappe Auswahl des für solche Zwecke eben erforderlichen Materials enthält. Das vorliegende „Lehrbuch" hatte dadurch Freiheit gewonnen, ohne einschränkende Rücksichten eine erheblich grössere Vollständigkeit in den zu behandelnden Messmethoden anzustreben und ist so gegen die frühere Auflage erheblich angewachsen. Eine beträchtliche Zahl physiko- und elektro-chemischer Methoden bildet das Hauptkontingent dieser Neuerungen, doch haben alle Kapitel der Physik Erweiterungen erfahren, sodass die Anzahl der Paragraphen um etwa $^1/_3$ gegen früher gewachsen ist. Das Gleiche gilt von den beliebten Tabellen, deren Zahlenmaterial — wie die Vorrede betont — in dankenswerther Weise mit sorgfältiger Kritik ausgewählt wurde. Für die elektrischen Einheiten Volt, Ohm und Ampere sind als neue Zeichen ihre mit einem kleinen Blitz durchquerten Anfangsbuchstaben eingeführt.

In seiner neuen erweiterten Form wird das klassisch zu nennende Buch dem messenden Physiker noch unentbehrlicher wie bisher werden, und man darf wohl der Hoffnung Ausdruck verleihen, dass die befruchtende Atmosphäre der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt das „Lehrbuch" mehr und mehr zu einem „Handbuch" ausgestalten wird. *R. Abegg.*

Ch. A. Vogler, Geodätische Uebungen für Landmesser und Ingenieure. 2. Aufl. gr. 8. Berlin, P. Parey. Geb. in Segeltuch.

1. Theil: Feldübungen. VII u. S. 1—270 m. 56 Fig. 1899. 9,00 M. — 2. Theil: Winterübungen. VI u. S. 271—426 m. 25 Fig. 1901. 5,50 M.

Dieses Uebungsbuch, von der 1. Aufl. her vortheilhaft bekannt, erscheint hier in erweiterter 2. Aufl. Für diese Zeitschrift kommt mehr der 2. Theil in Betracht, wenn auch die

Instrumentenkunde schon im 1. Theil keineswegs leer ausgeht (vgl. besonders die Abschnitte über Nivelliren, trigonometrische und barometrische Höhenmessung [der Verf. bleibt bei Ablesung von $^1/_{40}$ Skalentheil bei den gewöhnlichen Aneroiden von 11 *cm* Theilungsdurchmesser], Gebrauch von Nivellirtachymeter und Gefälltachymeter).

Aus der zweiten Abtheilung seien hervorgehoben einige Aufgaben über das Fernrohr (Objektivbrennweite, Gesichtsfeld, Vergrösserung); Aufgaben über Libellen; am Theodolit Bestimmung der Exzentrizitätsfehler, der Achsenfehler und ihres Einflusses, Betrachtung des Borda'schen Achsensystems und der Fehler beim Repetiren. Das letzte starke Drittel des 2. Theils enthält Ausgleichungsaufgaben.

Wenn auch, dem didaktischen Zweck entsprechend, Manches wohl etwas breit ausgefallen ist, so wird doch ohne Zweifel auch ausserhalb der Schule das kleine Werk vielfach mit Nutzen gebraucht werden können. *Hammer.*

G. Bredig, Ueber die Chemie der extremen Temperaturen. Habilitationsvorlesung. 8°. 32 S. Leipzig, S. Hirzel 1901. 0,60 M.

Der Verf. versucht, auf die Frage: „Was geschieht bei extrem hohen und bei extrem niedrigen Temperaturen?" eine kurze Antwort zu geben, ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Zur Besprechung gelangen hauptsächlich die folgenden, aus dem grossen Gesammtmaterial herausgewählten Punkte: Temperaturmessung, Temperaturerzeugung, Thermostaten, chemische Reaktionen bei extremen Temperaturen, Dissoziation, Lösungsvermögen geschmolzener Metalle, elektrische Leitfähigkeit von Metallen; Verflüssigen und Erstarren von Gasen, Verhalten der Organismen in sehr tiefen Temperaturen. Die zahlreichen Zitate bilden nach Ansicht des Ref. den eigentlichen Werth der Arbeit, die im Uebrigen nur als ein in grossen Zügen angelegtes Essai aufzufassen ist. Demnach gelten auch einzelne Behauptungen des Verf. nur in erster Annäherung, so z. B. für die Temperaturmessung durch elektrische Widerstandsbestimmung die Annahme, dass für den Widerstand eine „ziemlich geradlinige Funktion der Temperatur" von der Art, dass der Widerstand „beim absol. Nullpunkt Null wird", Gültigkeit besitzt. *Rt.*

G. Robin, *Oeuvres scientifiques. Réunies et publiées sous les auspices du ministère de l'instruction publique par L. Raffy. Physique. 2 fascicules.* 8°. Mit Fig. Paris 1901. 12,00 M.

Fascic. 1: Physique mathématique. 4,50 M. — *Fascic. 2: Thermodynamique générale.* 7,50 M. In Vorbereitung: *Théorie nouvelle des Fonctions, exclusivement fondée sur l'idée des nombres et Leçons de Chimie physique.*

K. v. Buchka, Lehrbuch der analytischen Chemie. 1. Thl. Qualitative Analyse. 2. Aufl. gr. 8°. XV, 264 S. m. 5 Abbildgn., 8 Uebersichtstaf. u. 1 Spektraltaf. Wien, F. Deuticke 1902. 7,00 M.

G. Quesneville, *Théorie nouvelle de la Dispersion.* 8°. 76 S. Paris 1900.

J. Hann, Lehrb. d. Meteorologie. gr. 8°. XIV, 805 S. m. 11 Abbildgn. im Text, 8 Taf. in Lichtdr. u. Autotyp., sowie 15 Karten. Leipzig, Ch. H. Tauchnitz 1901. 30,00 M., geb. in Halbfrz. 33,00 M.

Sammlung Schubert. X. u. XL. Bd. 8°. Leipzig, G. J. Göschen. Geb. in Leinw.

X. W. F. Meyer, Differential- u. Integralrechnung. 1. Bd.: Differentialrechng. XVIII, 395 S. m. 13 Fig. 1901. 9,00 M. — XL. J. Classen, Mathematische Optik. X, 207 S. m. 52 Fig. 1901. 6,00 M.

A. Baule, Lehrb. d. Vermessungskunde. 2. Aufl. gr. 8°. VIII, 471 S. m. 280 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1901. 8,80 M.

G. Ferraris, Wissenschaftl. Grundlagen der Elektrotechnik. Nach den Vorlesgn. üb. Elektrotechnik, gehalten in dem *R. Museo Industriale* in Turin, deutsch hrsg. v. Dr. L. Finzi. gr. 8°. XII, 358 S. m. 161 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1901. Geb. in Leinw. 12,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Februar 1902.** Zweites Heft.

Ueber einen Thermostaten für tiefe Temperaturen und seine Anwendung bei der Vergleichung von Thermoelementen.

Von

Dr. **Rudolf Rothe.**

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

(Fortsetzung von S. 21.)

II. Beobachtungen.

Bei den im Folgenden mitgetheilten Messungen tiefer Temperaturen mittels Thermoelemente wurde in erster Linie der eben beschriebene Thermostat angewandt; es wurden aber auch einige der gewöhnlich benutzten Kältemischungen, im Besondern das Kohlensäure-Alkoholgemisch, verwendet, sowie wiederholte Vergleichungen in flüssiger Luft selbst vorgenommen. In wie weit sich der Thermostat bei den Messungen bewährt hat, geht aus der erreichten Uebereinstimmung in den Angaben der untersuchten Thermoelemente, sowie aus der Temperaturkonstanz während jeder einzelnen Beobachtung hervor. Hierüber wird die weiter unten zu erwähnende Tabelle II am besten Aufschluss geben.

Thermoelemente. Im Ganzen wurden elf Thermoelemente zur Untersuchung gezogen: fünf von diesen waren Eisen-Konstantan-Elemente aus zwei verschiedenen Drahtsorten, nämlich die mit A, α, β bezeichneten einer Sorte θ, die mit x_1, x_2 bezeichneten der andern Sorte x; ferner vier Kupfer-Konstantan-Elemente σ_1 und σ_2 aus einem Drahtvorrath σ, σ_3 und σ_4 aus einem andern σ'; endlich zwei Platin-Platinrhodium-(10 %)-Elemente XI und XII aus einem Heraeus'schen Drahtvorrath p. Die Untersuchung der letztgenannten, praktisch nur in höheren Temperaturen brauchbaren Elemente, war in zweifacher Hinsicht von Interesse: einmal sind sie die einzigen, über das ganze der heutigen Gasthermometrie zugängliche Temperaturbereich verwendbaren Temperaturmesser, sodann aber besitzen sie in der Nähe von — 150° einen Umkehrpunkt ihrer Thermokraft, dessen Lage genauer festzulegen auch von einem andern Gesichtspunkte aus wünschenswerth war[1]). Sämmtliche Elemente waren vor dem Gebrauch einem elektrischen Ausglühverfahren unterworfen, indem die Platin- und Platinrhodiumdrähte bis zur Weissgluth, die übrigen Drähte bis zum Anlaufen des Metalls durch einen hindurchgeschickten elektrischen Strom wiederholt erhitzt wurden. Dieses Verfahren, welches für die in höhern Temperaturen zu verwendenden Elemente unerlässlich ist[2]), zieht auch in tieferen Temperaturen eine bessere Uebereinstimmung der Elemente eines Drahtvorraths nach sich.

[1]) L. Holborn, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 252. 1901.*

[2]) Thätigkeitsbericht der Reichsanstalt für 1898, *diese Zeitschr.* **19.** *S. 249. 1899.*

Während der Beobachtungen war jedes der Elemente in der Nähe der Löthstelle in einer unten zugeschmolzenen Glasröhre montirt, die beiden Schenkel waren ebenfalls durch eine Glasröhre von einander isolirt; die sämmtlichen Röhren wurden zu einem Bündel mittels zweier Drahtschlingen vereinigt. Im Uebrigen waren die (unbesponnenen) Drähte an Porzellanisolatoren befestigt. Die andern Löthstellen befanden sich in zwei weiteren, mit Petroleum gefüllten Glasröhren, die in einem doppelwandigen Blechgefässe dauernd auf der Temperatur des schmelzenden Eises gehalten wurden. Von dort führten durch schellackirte Seidenumspinnung isolirte dünne Kupferdrähte zu einem doppelpoligen Umschalter, der sich zur Vermeidung von Thermoströmen in einem mit Petroleum gefüllten Blechkasten befand. Von dem Umschalter ging eine gut isolirte Leitung zur Messvorrichtung. Sämmtliche Apparate u. s. w., auch der Thermostat waren durch Paraffin gegen Erde isolirt.

Zur Messung der elektromotorischen Kräfte wurde ausschliesslich die Kompensationsmethode verwendet, und zwar mittels des Kompensationsapparates in der Schaltung und Form, wie sie bereits bei einer früheren Gelegenheit beschrieben worden ist[1]). Der Gesammtwiderstand des Kompensationsapparates betrug bei diesen Versuchen nominell 2999,9 Ohm, an welchen 0,03 Volt Spannung herrschte. Diese Kombination war übrigens aus einem für die vorliegenden Messungen nicht in Betracht kommenden Grunde gewählt worden. Der Kompensationsapparat gab also die Mikrovolt direkt an, während am Spiegelgalvanometer (Deprez-d'Arsonval'sches Instrument von Siemens & Halske, Berlin; etwa 150 Ohm Spulenwiderstand) noch 0,5 Mikrovolt entsprechend 1 *mm* Skalenausschlag bequem abzulesen waren.

Vergleichungen im Thermostaten. Nunmehr sollen die in dem oben beschriebenen Thermostaten angestellten Vergleichungen der Thermoelemente mitgetheilt werden. Sie erstrecken sich auf das Intervall vom Eispunkt bis etwa — 135°. In den folgenden Tabellen, von denen die erste ein Beispiel für den Gang einer einzelnen Messung giebt, während in der zweiten die Resultate aller Vergleichungen im Thermostaten vereinigt sind, wird unter

$\theta \qquad \varkappa \qquad \sigma \qquad \sigma' \qquad p$

der Mittelwerth in den Angaben der Elemente

$A, \alpha, \beta \qquad \varkappa_1, \varkappa_2 \qquad \sigma_1, \sigma_2 \qquad \sigma_3, \sigma_4 \qquad$ XI, XII

in *Mikrovolt* verstanden, wobei aber zu erwähnen ist, dass die angegebenen Zahlen stets noch aus mehreren Einzelbeobachtungen, in der Regel zwei für jedes Element, gemittelt sind. Die Temperaturen t_θ, $t_\varkappa$, t_σ, $t_{\sigma'}$ sind die aus den weiter unten mitgetheilten Formeln berechneten, den elektromotorischen Kräften θ, $\varkappa$, σ, σ' entsprechenden Werthe. Die Tabelle II enthält ferner die Differenzen $\Delta_\varkappa = t_\theta - t_\varkappa$, $\Delta_\sigma = t_\theta - t_\sigma$, $\Delta_{\sigma'} = t_\theta - t_{\sigma'}$ in hundertstel Grad. In der letzten Spalte sind noch Angaben über die während jeder Beobachtung eingetretene Temperaturveränderung gemacht; sie geben einen Aufschluss über die mit dem Thermostaten erreichte Konstanz, wobei zu bemerken ist, dass jede Beobachtungsreihe ungefähr zehn Minuten dauerte. Bei den in Tabelle II mit * bezeichneten Beobachtungen wurden Kältemischungen verwendet.

Ferner sind die in Tabelle II verzeichneten Beobachtungen graphisch dargestellt worden. In Fig. 3 sind als Abszissen die Temperaturen t_θ, als Ordinaten der mit den entsprechenden Buchstaben bezeichneten Kurven die Thermokräfte θ, $\varkappa$, σ, σ' und p aufgetragen worden.

---

[1]) Lindeck und Rothe, *diese Zeitschr.* **20.** *S. 291. 1900.* Der Kompensationsapparat selbst hatte die von O. Wolff, *diese Zeitschr.* **21.** *S. 227. 1901* beschriebene Form.

Tabelle I.
17. Beobachtung.

Datum: 12. Okt. 1901.

Temperatur des Kadmium-Elements: 19° C. Nebenschlusswiderstand: 3285,0 Ohm.

	Anfang $12^h\,30^m$	Ende $12^h\,40^m$	Mittel		
Element A	— 5546 ↓	— 5550 ↑	— 5548		
„ α	— 5540	— 5546	— 5543		
„ β	— 5558,5	— 5563	— 5561		
			Mittel θ = — 5551	t_θ = — 130,87°	
„ x_1	— 5387	— 5389	— 5388		
„ x_2	— 5395	— 5395	— 5395		
			Mittel x = — 5391,5	t_x = — 130,84°	Temperatur im Maximum um etwa 0,15° gefallen.
„ σ_1	— 3682	— 3682	— 3682		
„ σ_2	— 3691,5	— 3690	— 3691		
			Mittel σ = — 3686,5	t_σ = — 130,49°	
„ σ_3	— 3917	— 3916	— 3916,5		
„ σ_4	— 3900	— 3900	— 3900		
			Mittel σ' = — 3908	$t_{\sigma'}$ = — 130,22°	
„ XI	— 420	— 420	— 420		
„ XII	— 420	— 421	— 420,5		
			Mittel p = — 420		

Vergleichungen bei — 79° und — 190°. Um die in Tabelle II mitgetheilten Beobachtungen diskutiren zu können, ist es nothwendig, auf die aus den elektromotorischen Kräften der Elemente zu ermittelnden Temperaturen zurückzugehen.

Für das Eisen-Konstantan-Element ist von Holborn und Wien[1]) eine quadratische Formel

$$t = a\,e + b\,e^2$$

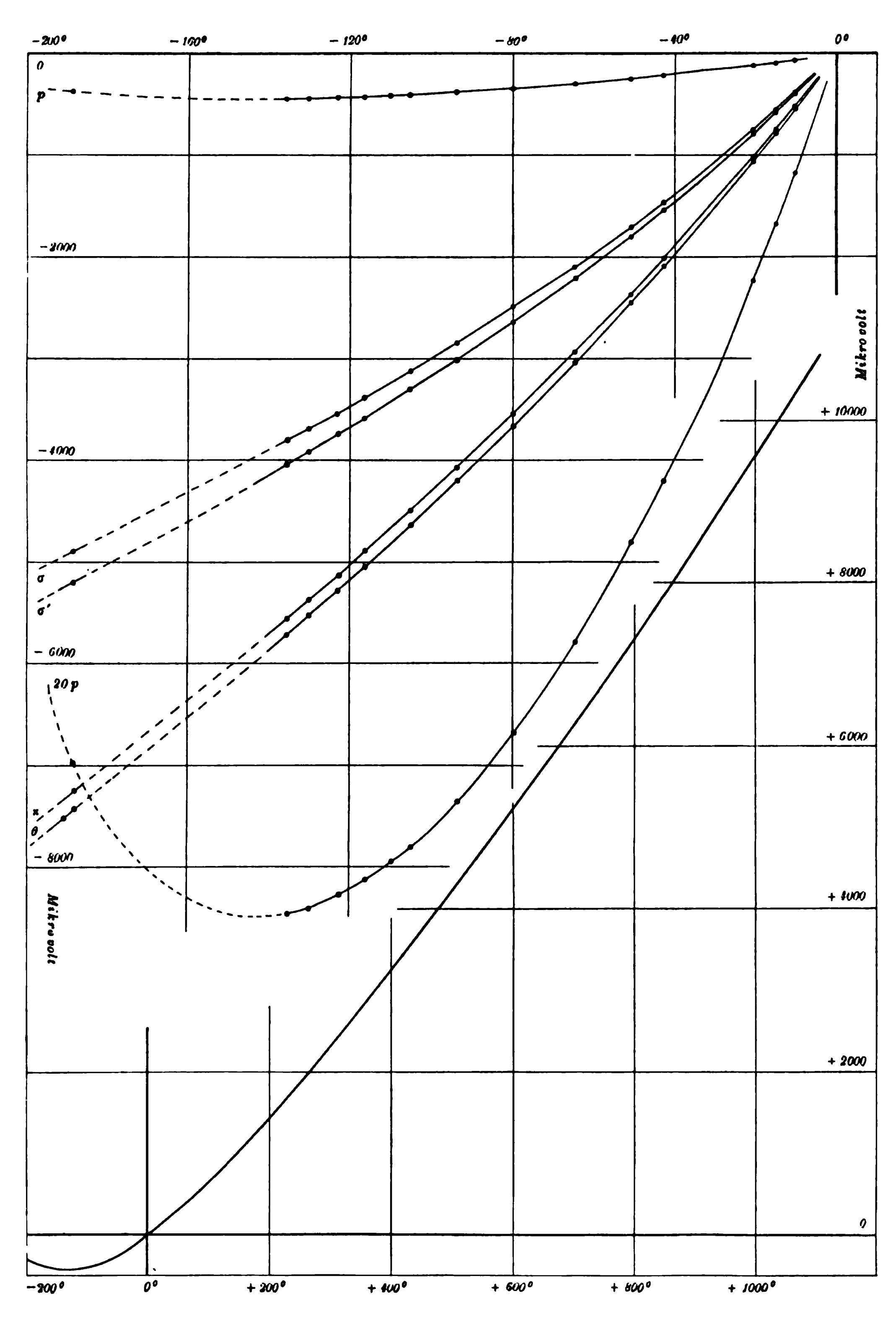
angegeben, durch welche die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft e von der Temperatur t dargestellt wird, und deren Koeffizienten durch Beobachtungen bei — 79° und bei — 190° bestimmt wurden; über die Uebereinstimmung der durch die Formel definirten Temperatur mit der des Gasthermometers an andern als den genannten Punkten ist freilich zur Zeit weiter nichts bekannt, als dass sie beim Sauerstoff-Siedepunkt noch vorhanden ist[2]). Für die Kupfer-Konstantan-Elemente ist zwar eine derartige quadratische Formel bisher nicht aufgestellt worden, der Verlauf der Kurven für diese Elemente machte es aber von vornherein wahrscheinlich, dass, wenn für die Eisen-Konstantan-Elemente die Formel gilt, sie auch für die Kupfer-Konstantan-Elemente bestehen musste.

Gemäss dem eben Auseinandergesetzten wurden zunächst sämmtliche Thermoelemente bei — 79° wiederholt mit einem Alkoholthermometer verglichen, welches früher, bei Gelegenheit der Wiebe-Böttcher'schen Untersuchungen[3]) am Gasthermo-

[1]) Holborn und Wien, *Wied. Ann.* **59.** *S. 222. 1896.*
[2]) Holborn und Wien, *a. a. O. S. 225.*
[3]) Wiebe und Böttcher, *diese Zeitschr.* **10.** *S. 16. 1890.*

Tabelle II.

Nr.	Datum 1901	θ in 10^{-6} Volt	t_θ in ° C.	x in 10^{-6} Volt	t_x in ° C.	Δ_x in 0,01° C.	σ in 10^{-6} Volt	t_σ in ° C.	Δ_σ in 0,01° C.	σ' in 10^{-6} Volt	$t_{\sigma'}$ in ° C.	$\Delta_{\sigma'}$ in 0,01° C.	p in 10^{-6} Volt	° C.
38	19. Okt.	— 529	— 9,97	— 510	— 10,04	+ 7	— 371,5	— 9,81	— 16	— 393	— 9,86	— 11	— 58	+ 0,03*
2	24. Sept.	— 773	— 14,74	— 750	— 14,93	+ 19	— 546	— 13,95	— 79	— 575	— 13,97	— 77	— 83	— 0,20
39	19. Okt.	— 1042	— 20,14	— 1006	— 20,27	+ 13	— 731,5	— 18,73	— 141	— 771,5	— 18,78	— 136	— 111	— 0,02*
3	25. Sept.	— 1890	— 38,03	— 1827	— 38,23	+ 20	— 1314	— 38,06	+ 3	— 1386	— 37,98	— 5	— 190	+ 0,02
22	12. Okt.	— 2084	— 42,32	— 2014	— 42,49	+ 17	— 1445	— 42,37	+ 5	— 1524,5	— 42,28	— 4	— 210	+ 0,10
4	25. Sept.	— 2443	— 50,44	— 2363	— 50,63	+ 19	— 1688,5	— 50,62	+ 18	— 1782,5	— 50,51	+ 7	— 240	+ 0,50
21	12. Okt.	— 3032	— 64,28	— 2935	— 64,46	+ 18	— 2081,5	— 64,62	+ 34	— 2199	— 64,46	+ 18	— 289	+ 0,20
28	15. „	— 3690	— 80,52	— 3574	— 80,64	+ 12	— 2510	— 80,84	+ 32	— 2655	— 80,67	+ 15	— 337	+ 0,07
15	12. „	— 3814	— 83,67	— 3698	— 83,86	+ 19	— 2594	— 84,14	+ 47	— 2745	— 83,98	+ 31	— 346	— 0,20
20	12. „	— 4186	— 93,30	— 4059,5	— 93,44	+ 14	— 2836	— 93,85	+ 55	— 2999,5	— 93,56	+ 26	— 367	+ 0,07
16	12. „	— 4623	— 104,95	— 4480	— 104,89	— 6	— 3099,5	— 104,78	— 17	— 3279	— 104,42	— 53	— 389,5	+ 0,47
27	15. „	— 4760	— 108,67	— 4621,5	— 108,81	+ 14	— 3198,5	— 108,99	+ 32	— 3388	— 108,76	+ 9	— 396	+ 0,10
19	12. „	— 4801,5	— 109,81	— 4662	— 109,94	+ 13	— 3225,5	— 110,14	+ 33	— 3412	— 109,72	— 9	— 396,5	+ 0,42
9	3. „	— 5031,5	— 116,16	— 4878	— 116,03	— 13	— 3371	— 116,44	+ 28	— 3567	— 116,00	— 16	— 405,5	+ 0,55
18	12. „	— 5267	— 122,77	— 5117	— 122,86	+ 9	— 3523	— 123,14	+ 37	— 3732	— 122,81	+ 4	— 418	— 0,60
26	15. „	— 5520	— 129,98	— 5365	— 130,06	+ 8	— 3673	— 129,88	— 10	— 3897	— 129,75	— 23	— 420	+ 0,17
17	12. „	— 5551	— 130,87	— 5391,5	— 130,84	— 3	— 3686,5	— 130,49	— 38	— 3908	— 130,22	— 65	— 420	— 0,15
25	15. „	— 5707	— 135,39	— 5552	— 135,57	+ 18	— 3772	— 134,89	— 100	— 4020,5	— 135,03	— 36	— 422,5	— 0,70



-200°
-160°
-120°
-80°
-40°
0°
0
p
-2000
-4000
σ
σ'
-6000
20 p
x
θ
-8000
Mikrovolt
Mikrovolt
+10000
+8000
+6000
+4000
+2000
0
-200°
0°
+200°
+400°
+600°
+800°
+1000°

Fig. 3.

Tabelle II.

Nr.	Datum 1901	θ in 10^{-6} Volt	t_θ in ° C.	x in 10^{-6} Volt	t_x in ° C.	Δ_x in 0,01° C.	σ in 10^{-6} Volt	t_σ in ° C.	Δ_σ in 0,01° C.	σ' in 10^{-6} Volt	$t_{\sigma'}$ in ° C.	$\Delta_{\sigma'}$ in 0,01° C.	p in 10^{-6} Volt	° C.
38	19. Okt.	— 529	— 9,97	— 510	— 10,04	+ 7	— 371,5	— 9,81	— 16	— 393	— 9,86	— 11	— 58	+ 0,03*
2	24. Sept.	— 773	— 14,74	— 750	— 14,93	+ 19	— 546	— 13,95	— 79	— 575	— 13,97	— 77	— 83	— 0,20
39	19. Okt.	— 1042	— 20,14	— 1006	— 20,27	+ 13	— 731,5	— 18,73	— 141	— 771,5	— 18,78	— 136	— 111	— 0,02*
3	25. Sept.	— 1890	— 38,03	— 1827	— 38,23	+ 20	— 1314	— 38,06	+ 3	— 1386	— 37,98	— 5	— 190	+ 0,02
22	12. Okt.	— 2084	— 42,32	— 2014	— 42,49	+ 17	— 1445	— 42,37	+ 5	— 1524,5	— 42,28	— 4	— 210	+ 0,10
4	25. Sept.	— 2443	— 50,44	— 2363	— 50,63	+ 19	— 1688,5	— 50,62	+ 18	— 1782,5	— 50,51	+ 7	— 240	+ 0,50
21	12. Okt.	— 3032	— 64,28	— 2935	— 64,46	+ 18	— 2081,5	— 64,62	+ 34	— 2199	— 64,46	+ 18	— 289	+ 0,20
28	15. „	— 3690	— 80,52	— 3574	— 80,64	+ 12	— 2510	— 80,84	+ 32	— 2655	— 80,67	+ 15	— 337	+ 0,07
15	12. „	— 3814	— 83,67	— 3698	— 83,86	+ 19	— 2594	— 84,14	+ 47	— 2745	— 83,98	+ 31	— 346	— 0,20
20	12. „	— 4186	— 93,30	— 4059,5	— 93,44	+ 14	— 2836	— 93,85	+ 55	— 2999,5	— 93,56	+ 26	— 367	+ 0,07
16	12. „	— 4623	— 104,95	— 4480	— 104,89	— 6	— 3099,5	— 104,78	— 17	— 3279	— 104,42	— 53	— 389,5	+ 0,47
27	15. „	— 4760	— 108,67	— 4621,5	— 108,81	+ 14	— 3198,5	— 108,99	+ 32	— 3388	— 108,76	+ 9	— 396	+ 0,10
19	12. „	— 4801,5	— 109,81	— 4662	— 109,94	+ 13	— 3225,5	— 110,14	+ 33	— 3412	— 109,72	— 9	— 396,5	+ 0,42
9	3. „	— 5031,5	— 116,16	— 4878	— 116,03	— 13	— 3371	— 116,44	+ 28	— 3567	— 116,00	— 16	— 405,5	+ 0,55
18	12. „	— 5267	— 122,77	— 5117	— 122,86	+ 9	— 3523	— 123,14	+ 37	— 3732	— 122,81	+ 4	— 413	— 0,60
26	15. „	— 5520	— 129,98	— 5365	— 130,06	+ 8	— 3673	— 129,88	— 10	— 3897	— 129,75	— 23	— 420	+ 0,17
17	12. „	— 5551	— 130,87	— 5391,5	— 130,84	— 3	— 3686,5	— 130,49	— 38	— 3908	— 130,22	— 65	— 420	— 0,15
25	15. „	— 5707	— 135,39	— 5552	— 135,57	+ 18	— 3772	— 134,39	— 100	— 4020,5	— 135,03	— 36	— 422,5	— 0,70

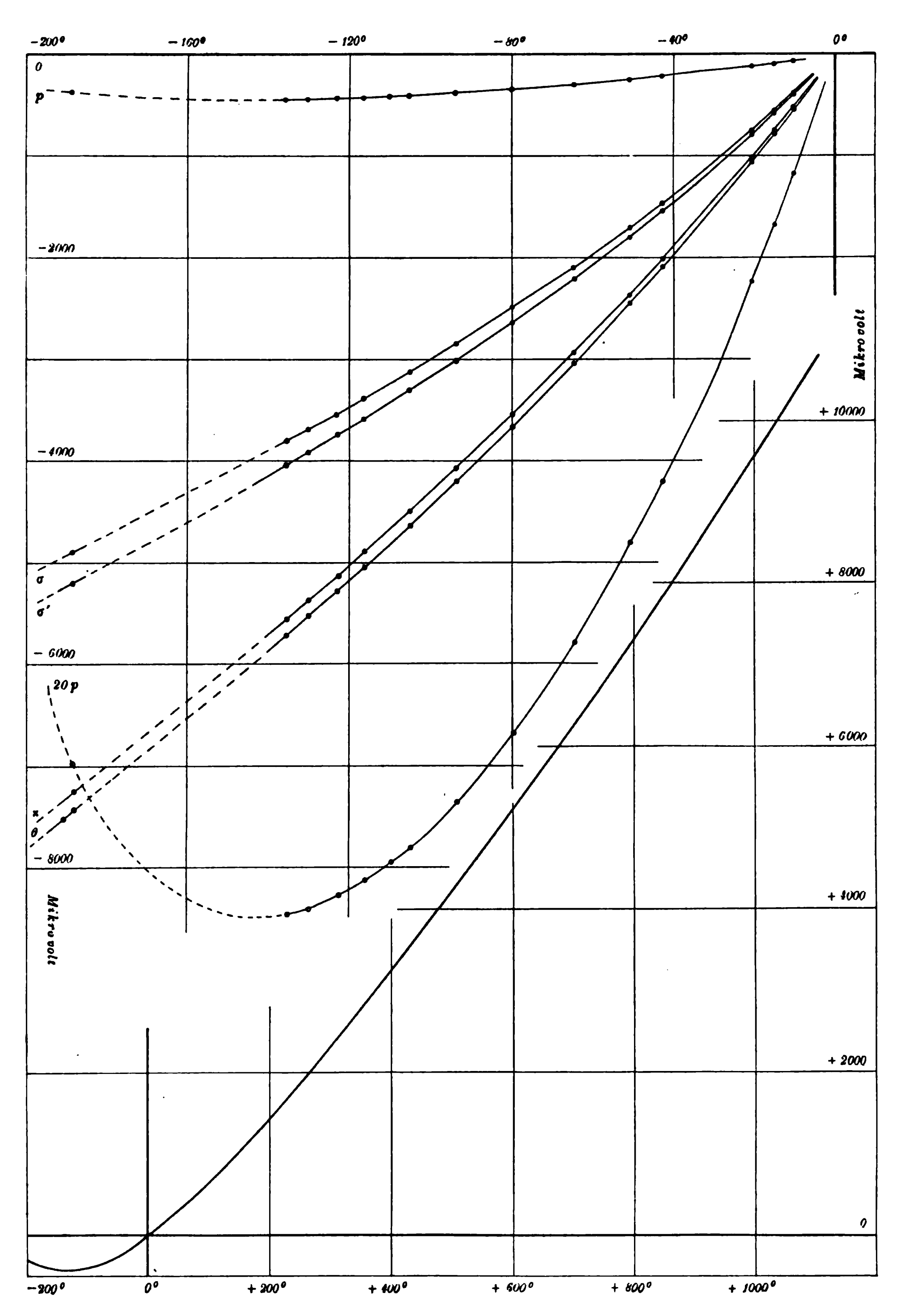

-200°
-160°
-120°
-80°
-40°
0°
0
p
-2000
-4000
σ
σ'
-6000
20 p
x
θ
-8000
Mikrovolt
+10000
+8000
+6000
+4000
+2000
0
Mikrovolt
-200°
0°
+200°
+400°
+600°
+800°
+1000°

Fig. 3.

meter, an dasselbe angeschlossen war. Die Angaben dieses Thermometers (Fuess Nr. 3) sind durch jahrelang fortgesetzte Vergleichungen mit andern Thermometern derselben Art, die zur selben Zeit an das Gasthermometer angeschlossen waren, als zuverlässig erkannt worden; die dabei beobachtete gute Uebereinstimmung bietet eine grosse Gewähr dafür, dass das Thermometer wirklich die gasthermometrische Skale repräsentirt. Uebrigens zeichnet sich dieses Instrument durch eine besonders gute Alkoholfüllung aus, welche auch in tiefen Temperaturen keinerlei Trübung erkennen lässt. Zur Vermeidung der in diesen Temperaturen ziemlich unsicheren Korrektion für den herausragenden Faden wurde das Thermometer stets so abgelesen, dass die Kuppe nur während der möglichst rasch erfolgten Messung über dem Niveau des für diese Messungen benutzten Kältebreies (Kohlensäure-Alkohol) stand. Die Resultate dieser Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle III unter Nr. 24, 29 und 30 mitgetheilt, in der dieselben Bezeichnungen wie vorher angewandt und unter t die auf das Gasthermometer reduzirten Angaben des Alkoholthermometers verstanden sind.

Ferner wurden die drei Elemente des Vorraths θ noch mit einem an das Gasthermometer direkt angeschlossenen Platinwiderstands-Thermometer bei der Temperatur der siedenden Luft verglichen, sodass für diese Elemente die Konstanten a und b der obigen Formel unmittelbar bestimmt worden sind. Die letztgenannte Vergleichung ist in der Abtheilung I der Reichsanstalt vorgenommen worden. Schliesslich wurden mit den Elementen des Vorraths θ noch alle übrigen in flüssiger Luft verglichen; nach dem sich im Mittel ergebenden Werth θ wurde aus der weiter unten angegebenen Formel die Temperatur — in der Tabelle III der eingeklammerte Werth — berechnet, und da diese von derjenigen Temperatur, bei der die θ-Elemente mit dem Platinwiderstande verglichen waren, nur 3° entfernt ist, so kann man auch alle übrigen Elemente bei diesem Punkte als an das Gasthermometer angeschlossen betrachten. Die erwähnten Beobachtungen sind in der nachstehenden Tabelle III mitgetheilt.

Tabelle III.

Nr.	Datum 1901	t in °C.	θ	$\varkappa$	σ	σ'	p
			Elektromotorische Kraft in Mikrovolt				
24	15. Okt.	— 79,51	— 3651	— 3532	— 2468,$_5$	— 2619	— 333
29	16. „	45	46	27	77,$_5$	24,$_5$	— 333
30	16. „	42	46	26,$_5$	75	22	— 333
	Mittel:	— 79,46	— 3648	— 3528,$_5$	— 2474,$_5$	— 2622	— 333
—	25. Okt.[1])	— 190,82	— 7506,$_5$				
1	24. Sept.		— 7462	— 7277,$_5$	— 4893	— 5188	— 343,$_5$
5	25. „		— 7414	— 7219,$_5$	— 4846,$_5$	— 5165	— 346,$_5$
7	25. „		— 7383	— 7193	— 4838	— 5154	— 354
31	17. Okt.		— 7454,$_5$	— 7270	— 4901	— 5210	— 344
36	17. „		— 7440,$_5$	— 7246,$_5$	— 4882,$_5$	— 5198,$_5$	— 346,$_5$
37	17. „		— 7375	— 7195,$_5$	— 4864,$_5$	— 5166	— 355
	Mittel:	(— 188,06)	— 7421,$_5$	— 7234	— 4871	— 5180	— 348

[1]) Diese Messung wurde von den Hrn. Holborn und Dittenberger in Abth. I ausgeführt. Der in Tabelle III mitgetheilte Werth ist das Mittel aus achtzehn Einzelbeobachtungen. Das Platinthermometer war das von L. Holborn, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 242. 1901* mit Nr. 2 bezeichnete, der Abth. I der Reichsanstalt gehörige Instrument.

Besprechung der Resultate. Aus diesen Beobachtungen sind für die Drähte θ, x, σ, σ' die folgenden quadratischen Formeln abgeleitet worden:

$$t_\theta = -0{,}018341_5 \cdot \theta + 0{,}0000009430_7 \cdot \theta^2 \quad \ldots \ldots \quad 1)$$

$$t_x = -0{,}019209_2 \cdot x + 0{,}0000009344_4 \cdot x^2 \quad \ldots \ldots \quad 2)$$

$$t_\sigma = -0{,}025403_5 \cdot \sigma + 0{,}0000027108_5 \cdot \sigma^2 \quad \ldots \ldots \quad 3)$$

$$t_{\sigma'} = -0{,}024155_0 \cdot \sigma' + 0{,}0000023455_5 \cdot \sigma'^2 \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

Die hierdurch definirten Temperaturen stimmen nach dem Vorstehenden in der Umgebung von -79^0 und -190^0 unter einander und mit dem Gasthermometer überein. Es entsteht nun aber die Frage, ob diese Uebereinstimmung auch an den übrigen Stellen des Temperaturintervalls 0^0 bis -190^0 vorhanden ist. Soweit das Gasthermometer in Frage kommt, muss die Entscheidung hierüber noch vorbehalten bleiben[1]), in Bezug auf die Uebereinstimmung der Temperaturen unter einander lassen sich aber aus den in Tabelle II mitgetheilten Vergleichungen im Thermostaten einige Schlüsse ziehen, wenigstens für das beobachtete Temperaturintervall von 0^0 bis -135^0.

In dieser Tabelle sind die Differenzen der aus den Thermokräften x, σ, σ' berechneten Temperaturen t_x, t_σ, $t_{\sigma'}$ gegen die Temperatur t_θ angegeben. Sie sind bei fast allen Beobachtungen wesentlich kleiner als ein Grad, welchen Betrag sie nur bei Beobachtung Nr. 39 übersteigen und bei Nr. 25 erreichen. Von diesen ist die erstere in einer Kochsalz-Eismischung angestellt worden, welche mit einem von Hand betriebenen Ringrührer durch einander gemischt werden musste, sodass allerdings Isolationsfehler hierbei nicht völlig ausgeschlossen sind. Bei der zweiten Beobachtung lässt sich dagegen ein besonderer Grund für die Abweichung nicht gut angeben. Die Differenzen Δ_x, Δ_σ, $\Delta_{\sigma'}$ lassen einen bestimmten Gang kaum erkennen; denn es ist zu bedenken, dass sie wegen der weiter unten noch zu erwähnenden Inhomogeneitätsströme im Mittel auf ein bis zwei Promille der Temperatur unsicher sein können. Man darf daher wohl sagen, dass *innerhalb einer Genauigkeit von etwa* $\pm 0{,}5^0$ *die durch die vier obigen Formeln dargestellten Temperaturen übereinstimmen.*

Das Le Chatelier'sche Element in tiefen Temperaturen. Was die Thermokraft des Platin-Platinrhodium-Elements in niederen Temperaturen anlangt, so ist sie wegen seiner Unempfindlichkeit prozentisch weit weniger genau zu messen als die der übrigen Elemente; denn einem Mikrovolt entspricht hier etwa $0{,}5^0$, während die analogen Zahlen beim Eisen-Konstantan-Element $0{,}02^0$, beim Kupfer-Konstantan-Element etwa $0{,}04^0$ sind. Die für den Werth p der Le Chatelier'schen Elemente in Fig. 3 aufgetragenen Einzelbeobachtungen stimmen aber mit dem sie ausgleichenden Kurvenzug, der einmal in derselben Grösse wie für die übrigen Elemente (p) und zweitens im zwanzigfachen Maassstabe ($20\,p$) aufgetragen ist, gut überein. Wie aus diesen Kurven ersichtlich, gilt für das Le Chatelier'sche Element keine Gleichung der Form

$$t = a\,e + b\,e^2,$$

weil hierin t nothwendig eine eindeutige Funktion von e ist. Da sich für die Werthe unter 0^0 ein den Verlauf der Kurve gut darstellender analytischer Ausdruck ohne unverhältnissmässig grosse Mühe nicht aufstellen liess, wurde auf diese Art der Dar-

[1]) Wenn zur Entscheidung über diese Frage nicht das Gasthermometer selbst zu Rathe gezogen werden soll, so kann sie mit Hülfe des Platinthermometers bis auf etwa 1^0 Unsicherheit herbeigeführt werden; denn bis zu diesem Betrage stimmt nach den Untersuchungen von Holborn und Wien (*Wied. Ann.* **59.** *S. 213. 1896*) das Platinthermometer mit dem Gasthermometer überein. Es wird beabsichtigt, gelegentlich einer Wiederholung der hier veröffentlichten Versuche sie u. A. auch nach dieser Richtung hin zu ergänzen, wobei dann überhaupt auch Widerstandsmessungen in den Kreis der Untersuchung gezogen werden sollen.

stellung überhaupt verzichtet, die zwischen — 135° und — 190° vorhandene Lücke aber nach einem geometrischen Verfahren interpolirt, unter der Annahme, dass die Kurve einen wesentlich parabolischen Verlauf besitzt.

Der Verlauf der Kurve zeigt, dass die Le Chatelier'schen Elemente einen Umkehrpunkt (Minimum) der Thermokraft besitzen, der für den untersuchten Drahtvorrath bei etwa

$$-142^\circ$$

liegt.

Die beiden Elemente XI und XII sind übrigens bei einer andern Gelegenheit[1]) in Temperaturen über 0° bis gegen 1300° theils mittels Quecksilber-Thermometer, theils durch Vergleichung mit andern geaichten Le Chatelier'schen Elementen, theils durch Schmelzpunktsbestimmungen an das Gasthermometer indirekt angeschlossen worden. Zur besseren Uebersicht des ganzen Verlaufs der Thermokraft dieser Elemente sind auch diese Resultate in Form einer Kurve (in der untersten Kurve von Fig. 3) angegeben. Dabei ist zu bemerken, dass die Werthe unter 0° der Kurve (20 p) entnommen sind, die Werthe über 0° bis 250° beziehen sich auf die Wiebe-Böttcher'sche luftthermometrische Temperaturskale[2]), während über 250° die Holborn und Day'sche gasthermometrische Skale[3]) zu Grunde gelegt ist.

Die Kurve hat die nämliche Gestalt wie diejenige, welche von A. Stansfield[4]) auf Grund der für das Platin-Platinrhodium-Element nach W. Thomson'schen Prinzipien hergeleiteten Formel

$$e = a\,T + b \log T + c$$

konstruirt und für das Intervall von 0° bis gegen 1000° bis auf etwa 2° mit den Beobachtungen in Uebereinstimmung befunden worden ist. In dieser Formel bedeutet T die absolute Temperatur. Die Extrapolation auf Temperaturen unter dem Gefrierpunkt liefert einen Umkehrpunkt der Thermokraft bei

$$T = -\frac{b}{a}.$$

Für den im Vorstehenden untersuchten Drahtvorrath p würde sich aber der von dem direkt beobachteten abweichende Werth — 125° ergeben, wenn man die Konstanten der Formel aus den Beobachtungen bei 1273° abs., 273° abs. und 142,13° abs. bestimmt.

Messgenauigkeit. Es ist noch nöthig, über die Uebereinstimmung der Elemente unter einander Einiges zu bemerken. Wegen der durch die Ungleichmässigkeit des Materials entstehenden „Inhomogeneitätsströme" ist eine absolute Uebereinstimmung sogar der Elemente eines und desselben Drahtvorraths im Allgemeinen nicht erreichbar. Biegungen des Drahtes, die Herstellung der Löthstelle u. s. w. verursachen, wie bekannt, deutlich messbare Differenzen in den Angaben der Elemente, welche sich überdies mit dem Temperaturgefälle längs des Drahtes und mit der Eintauchtiefe der Elemente in die zu messende Temperatur verändern. Bei den im Vorstehenden beschriebenen Messungen haben die Abweichungen der Elemente von den Mittelwerthen θ, x, σ, σ', p etwa 1 bis 2 Promille betragen; in einzelnen Fällen sind freilich grössere, ohne ersichtlichen Grund eingetretene Differenzen bis zum doppelten Betrage vorgekommen. Die Mittelwerthe werden aber auf jene Angabe sicher sein.

[1]) Ueber diese Beobachtungen steht eine Veröffentlichung der Reichsanstalt in dieser Zeitschrift noch bevor.

[2]) Wiebe und Böttcher, *a. a. O.*

[3]) Holborn und Day, *Wied. Ann.* ***68.*** *S. 817. 1899; Ann. d. Physik* ***2.*** *S. 505. 1900.*

[4]) A. Stansfield, *Phil. Mag.* ***46.*** *S. 73. 1898.*

Neue Form des Wernicke'schen Flüssigkeitsprismas.

Von
Dr. C. **Pulfrich** in Jena.
(Mittheilung aus der optischen Werkstaette von Carl Zeiss.)

Unter der gleichen Ueberschrift beschreibt Hr. C. Leiss in Steglitz in *dieser Zeitschr.* ***21.*** *S. 356. 1901* eine neue Form des Wernicke'schen Flüssigkeitsprismas[1]), welche vor jenem wesentliche Vorzüge besitzt. Ich glaube, dass wohl kaum ein Leser der Zeitschrift mehr von diesen Vorzügen überzeugt ist, als ich. Denn das Prisma ist in der von Hrn. Leiss beschriebenen Form *fast vollkommen das Endergebniss meiner eigenen auf die Verbesserung des Wernicke'schen Prismas gerichteten Bemühungen aus den Jahren 1894 bis 1899.* Der Unterschied zwischen den beiden Ausführungsformen ist der, dass ich statt des ursprünglich auch von mir benutzten Glasrohres ein Metallrohr anwende und ausserdem noch das ganze Prisma zum besseren Schutz desselben gegen Temperaturstörungen in einen etwas abstehenden Holzmantel einhülle. Aus der Anwendung des Metallrohres haben sich für den Gebrauch des Prismas keinerlei Nachtheile ergeben. Dagegen hat das Metallrohr vor dem Glasrohr den Vorzug, dass innerhalb des Flüssigkeitsprismas niemals Temperaturdifferenzen für längere Zeit bestehen bleiben können, da sie sofort nach ihrem Entstehen durch das Metallrohr wieder ausgeglichen werden. Thatsächlich ist die Definition der Spektrallinien schon einige Minuten nach dem Einlegen des gefüllten Prismas in den Holzmantel eine vollkommene, wie man sie sonst nur mit Glasprismen, selten mit Flüssigkeitsprismen erzielen kann. Endlich ist bei meiner Anordnung jedes der beiden Prismen auf der äusseren Prismenfläche mit einem horizontalen, dem Hauptschnitt des Prismas parallelen Strich versehen. Beim Zusammensetzen des Prismas hat man dann in der Parallelstellung der beiden Striche ein Kriterium dafür, dass der Hauptschnitt der Prismenkombination mit dem jedes einzelnen Prismas gleich gerichtet ist. Irgend ein Nachtheil für das Spektrum ist mit der Anbringung der Striche nicht verbunden.

Ueber den *Entwickelungsgang des Prismas* erlaube ich mir noch Folgendes zu bemerken. Den ersten Schritt, den ich in der Richtung einer Verbesserung des Wernicke'schen Flüssigkeitsprismas gethan habe, habe ich in einem in *dieser Zeitschr.* ***14.*** *S. 358. 1894* veröffentlichten Aufsatz mitgetheilt. Statt der vier Glasplatten des Wernicke'schen Prismas wurde eine mit einer Einfüllöffnung versehene Glasröhre angewandt und an die prismatisch unter 120° angeschliffenen Rohrenden die beiden Glasprismen angekittet. Die Schwierigkeit des Reinigens der inneren Prismenflächen, welche jener Form noch anhaftete, führte mich dann im Jahre 1897 zu der Anwendung von *schwach konisch geformten Glasprismen*, die als *eingeschliffene Stöpsel, ohne Kitt*, durch Ueberfangschrauben festgehalten, *in das Glasrohr beiderseits eingesetzt wurden.* Durch die Anordnung war zwar der genannte Missstand beseitigt, aber in Folge der ungleichen Ausdehnung von Glasrohr und Glasprisma war das Flüssigkeitsprisma niemals vollkommen dicht zu bekommen. Endlich ist durch Anwendung der *zylindrisch geformten Glasprismen mit vorstehendem, auf das Ende des Rohres aufgeschliffenem Rande* (vgl. die Figur in der Leiss'schen Mittheilung) auch diese Störung gehoben worden.

In dieser Form ist das Prisma, also mit dem oben erwähnten Metallrohr, den beiderseits als Stöpsel, ohne jeden Kitt, eingesetzten und durch Ueberfangschrauben festgehaltenen Glasprismen, *seit dem Sommer 1899* in drei verschiedenen Grössen von

[1]) *Diese Zeitschr.* ***1.*** *S. 353. 1881.*

10, 20 und 30 *mm* Oeffnung, jedes auf einem besonderen Fuss, in der Höhe verstellbar und zum Aufsetzen auf den Reiter der optischen Bank eingerichtet, von Seiten der Firma C. Zeiss in Jena regelmässig hergestellt und bereits in einer Reihe von Exemplaren nach dem In- und Auslande geliefert worden.

Nach den in meinem oben erwähnten Aufsatz gemachten Mittheilungen über die Einrichtung und die Anwendung zusammengesetzter Dispersionsprismen für Autokollimations-Beobachtungen ist es natürlich, dass die vorbezeichnete Neueinrichtung des Wernicke'schen Prismas sowohl bei dem für durchfallendes Licht, als auch bei dem für Autokollimation bestimmten „halben" Prisma zur Anwendung gelangte, hier nur mit der Modifikation, dass statt des zweiten Glasprismas eine auf der Rückseite versilberte ebene Glasplatte gegen das Rohrende gedrückt und durch eine Ueberfangschraube festgehalten wurde. In dem im Jahre 1899 zur Ausgabe gelangten Spezial-Katalog der Firma Zeiss über Spektrometer und Refraktometer ist dieses halbe Prisma auf *S. 11* unter Nr. 11d als Hülfsapparat für die Verwendung des Abbe'schen Spektrometers für spektroskopische Studien unter der Bezeichnung *„Zweitheiliges (halbes Wernicke'sches) Prisma"* aufgeführt und kurz beschrieben.

Die spezielle Beschreibung des *dreitheiligen* Flüssigkeitsprismas habe ich nach Vorstehendem geglaubt, auf eine spätere Gelegenheit verschieben zu können, umsomehr, weil das Prisma selbst im Herbst 1899 während der Naturforscher-Versammlung in München zusammen mit anderen neuen Apparaten der Firma Zeiss (Eintauchrefraktometer, Entfernungsmesser u. s. w.) ausgestellt war[1]) und seine Einrichtung Interessenten dortselbst und später in Jena wiederholt erläutert wurde. Auch befand sich das Prisma auf der Weltausstellung in Paris 1900[2]).

Jena, im Januar 1902.

Das Reflexionsvermögen einiger Metalle für ultraviolette und ultrarothe Strahlen[3]).

Von

E. Hagen und **H. Rubens.**

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

In dem ersten Abschnitt der nachstehenden Arbeit soll das Reflexionsvermögen einer Reihe von Metallen und Spiegelmetallen für *ultraviolette* Strahlen, in dem zweiten das für *ultrarothe* Strahlen behandelt werden. Die Arbeit bildet die Fortsetzung der im 19. Jahrgange dieser Zeitschrift veröffentlichten, dasselbe Thema für den *sichtbaren Theil des Spektrums* ($\lambda = 450$ bis $700\ \mu\mu$) behandelnden Untersuchung[4]). Für die letztere hatten wir eine Methode benutzt, mit Hülfe deren man das Reflexionsvermögen eines beliebigen Körpers für nahezu senkrechte Inzidenz auf optischem Wege mit Genauigkeit ermitteln kann. Das Verfahren beruhte auf der spektralphotometrischen Vergleichung der Helligkeit eines als Lichtquelle benutzten, elektrisch

---

[1]) Erwähnt in der *Phys. Zeitschr.* **1.** *S. 70. 1899.*

[2]) Dass man durch Anbringung einer leicht wegnehmbaren Versilberung (Amalgamiren von Stanniol) die dreitheilige und die zweitheilige Prismenkombination sowohl für Autokollimation als auch für durchfallendes Licht benutzen kann, bedarf nach meinen früheren Ausführungen wohl kaum einer besonderen Hervorhebung.

[3]) Eine kurze Mittheilung der vorliegenden Untersuchung, soweit dieselbe *ultraviolette* Strahlen betrifft, ist in den *Verhandl. d. Deutsch. physik. Gesellsch.* **3.** *S. 165. 1901* abgedruckt.

[4]) E. Hagen und H. Rubens, *diese Zeitschr.* **19.** *S. 293. 1899; Ann. d. Physik* **1.** *S. 352. 1900.*

geglühten Platinstreifens und dessen gleichgrossen reellen Bildes, welches ein aus der zu untersuchenden Substanz hergestellter Hohlspiegel liefert.

Wir hegten schon damals die Absicht, die Messungen unter Benutzung der gleichen Methode mit Hülfe eines fluoreszirenden Okulars über das sichtbare Gebiet hinaus auf das ultraviolette Spektrum auszudehnen[1]), und hatten aus diesem Grunde sämmtliche Glastheile im Apparat vermieden. Zur Dispersion der Strahlen diente ein Quarzprisma, die Spektrometerobjektive und die Projektionslinse waren durch Quarz-Flussspathachromate ersetzt. Es zeigte sich jedoch, dass die Methode in ihrer ursprünglich angewandten Form für Messungen im Ultraviolett nicht geeignet war. Sie bedurfte hierzu einer wesentlichen Abänderung, da sich die Strahlungsintensität des elektrisch geglühten Platinstreifens als unzureichend erwies und die Genauigkeit der photometrischen Vergleichung in dem Gebiet kleiner Wellenlängen durch diffuse Strahlen und die lebhafte Fluoreszenz aller Linsen und Prismen der Versuchsanordnung erheblich beeinträchtigt wird.

Die photometrische Methode musste daher durch eine andere ersetzt werden, welche es gestattet, die Intensität der auffallenden und reflektirten Strahlen nacheinander durch die Vergleichung ihrer *Wärmewirkung* unter Anwendung einer höchst intensiven Lichtquelle zu messen. Zu dieser Messung der Strahlungsintensität benutzten wir hierbei eine an Stelle des Fadenkreuzes im Beobachtungsrohr des Spektralapparates angebrachte lineare Thermosäule[2]) in Verbindung mit einem sehr empfindlichen, gegen magnetische Störungen völlig geschützten Panzergalvanometer[3]). Aus dem Verhältniss der Ausschläge des letzteren, wenn einmal die Strahlen direkt auffallen und das andere Mal zunächst an dem zu untersuchenden Spiegel reflektirt werden, musste sich sodann das Reflexionsvermögen der Substanz für die betreffende Wellenlänge ableiten lassen.

Diese Methode hat gegenüber dem in unserer ersten Arbeit angewendeten photometrischen Verfahren den *Nachtheil*, dass sie keine absolute Methode ist, falls man sie nicht durch Hinzunahme verwickelter Hülfseinrichtungen erheblich kompliziren will, dafür aber hat sie vor ihm den wesentlichen *Vortheil* voraus, dass sie sich unmittelbar auch für *ultrarothe* Strahlen anwenden lässt.

Als Lichtquelle diente für *Ultraviolett* eine kräftige, gut brennende Bogenlampe. Durch besondere Vorversuche hatten wir uns davon überzeugt, dass das Spektrum einer solchen auch in seinem ultravioletten Theil noch genügend intensiv ist, um genaue Messungen mit Hülfe der Thermosäule zu gestatten. Zwar ist die Emission des positiven Kraters bereits bei $\lambda = 300\ \mu\mu$ eine äusserst geringe, doch

[1]) Soweit uns bekannt ist, liegen ausser einigen Bestimmungen Langley's (*Phil. Mag.* **27**. *S. 10. 1889*), aus denen sich das Reflexionsvermögen eines Silberspiegels bei 400 $\mu\mu$ gleich 79 Proz., bei 380 $\mu\mu$ gleich 73 Proz. und bei 350 $\mu\mu$ gleich 61 Proz. berechnet, *quantitative* Angaben über das Reflexionsvermögen der Metalle und Spiegelmetalle für ultraviolette Strahlen von anderer Seite nicht vor.

Die auf photometrischem Wege erhaltenen Versuchsergebnisse des Hrn. Schumann (*Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien.* **108**, *IIa. S. 136. 1899*), sowie des Hrn. Glatzel (*Phys. Zeitschr.* **2**. *S. 176. 1900*) sind rein qualitativer Natur, und die wenigen von Letzterem aus seinen Versuchen abgeleiteten Zahlenangaben sind zum Theil sogar der Grössenordnung nach unrichtig.

Auch die von Hrn. P. G. Nutting (*Phys. Rev.* **13**. *S. 193. 1901*) benutzte photographische Methode scheint wenig geeignet, quantitative Resultate zu liefern. Die von ihm für Silber angegebenen Werthe stimmen zwar mit den unserigen angenähert überein, aber bei den übrigen Metallen, für welche Hr. Nutting übrigens nur Kurven mittheilt, ist dies so wenig der Fall, dass die letzteren den Charakter der Erscheinung nicht einmal qualitativ richtig wiedergeben.

[2]) H. Rubens, *diese Zeitschr.* **18**. *S. 65. 1898.*

[3]) H. du Bois und H. Rubens, *diese Zeitschr.* **20**. *S. 65. 1900.*

enthält das Spektrum des Lichtbogens eine Reihe von ultravioletten Emissionsbanden, von denen zwei (bei $\lambda = 385$ und $\lambda = 357$ $\mu\mu$) bereits durch die Arbeiten von Kayser und Runge[1]) und B. W. Snow[2]) bekannt sind. Letzterem gelang es, mit Hülfe des Bolometers zu zeigen, dass die Banden bei $\lambda = 385$ $\mu\mu$ eine äusserst kräftige, die bei $\lambda = 357$ $\mu\mu$ eine noch durchaus merkliche Wärmewirkung hervorbringen. Dass Hr. Snow das Vorhandensein noch weiter im Ultraviolett gelegener Banden mit seiner Versuchsanordnung nicht nachweisen konnte, ist in erster Linie dem Umstand zuzuschreiben, dass Linsen und Prisma seines Spektrometers aus Glas bestanden. Mit Hülfe unserer Instrumente glückte es uns jedoch, noch vier weitere Banden im Ultraviolett aufzufinden, deren Intensitätmaxima bei den Wellenlängen 305, 288, 251 und 221 $\mu\mu$ liegen[3]). Untersucht man die von dem Krater der positiven Kohle ausgesandte Strahlung, so findet man, dass die soeben genannten Emissionsbanden des Kohlenbogens über das kontinuirliche Spektrum der heissen Kohle hinübergelagert und nahezu ebenso kräftig sind, wie wenn man den Bogen allein strahlen lässt. Wir haben es deshalb vorgezogen, nicht mit dem Spektrum des Bogens allein, sondern mit demjenigen des positiven Kraters zu arbeiten.

Für die im zweiten Abschnitt zu erwähnenden Versuche im *Ultraroth* wurde ein frei brennender Nernst'scher Glühkörper benutzt, im Uebrigen aber sind hier genau die gleichen Apparate und deren gleiche Anordnung verwendet worden, wie für die Untersuchung im ultravioletten Theile des Spektrums.

I. Ultravioletter Theil.

Versuchsanordnung und Strahlengang.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. In derselben bedeutet F ein kleines, total reflektirendes Quarzprisma, welches so geschliffen ist, dass seine Kanten parallel der Krystallachse liegen, und welches auf einem drehbaren Tischchen derart befestigt ist, dass die Umdrehungsachse des letzteren ganz oder nahezu mit der Kante eines der beiden 45°-Winkel des Reflexprismas zusammenfällt. Das Tischchen selbst ist zwischen festklemmbaren Anschlägen um einen bestimmten Winkel drehbar und erlaubt, das Reflexprisma aus der in der Figur punktirt gezeichneten Stellung (Lage 1) in die durch ausgezogene Linien gekennzeichnete (Lage 2) überzuführen und umgekehrt.

In Fig. 1 bedeutet weiter C ein Diaphragma von etwa 3×3 *mm* Grösse, B eine Doppellinse aus Quarz, welche die von dem Krater der Bogenlampe A ausgehenden Strahlen auf C konzentrirt. Dieselben passiren einen mit Wasser gefüllten Trog D, dessen Wände aus dünnen, planparallelen Quarzplatten bestehen, und fallen auf das achromatische System E auf, dessen Stellung so gewählt ist, dass es die von dem Diaphragma C ausgehenden Strahlen zu einem Bilde a auf der einen Kathetenfläche des zunächst in der Lage 1 zu denkenden Reflexprismas vereinigt.

Die von a aus weitergehenden Strahlen werden hierauf an der Hypotenuse des Reflexprismas reflektirt und mittels der achromatischen Projektionslinse H zu einem scharfen Bilde auf dem bilateralen Spalt J des Spektralapparates wieder vereinigt, um von da aus weitergehend zu der Thermosäule T zu gelangen. Nimmt hingegen das Reflexprisma F die Lage 2 ein, so werden die Strahlen nach dem Eintritt in das

[1]) H. Kayser und C. Runge, *Wied. Ann.* **38.** *S. 90. 1889.*

[2]) B. W. Snow, *Wied. Ann.* **47.** *S. 227. 1892.*

[3]) Welchem Element diese Banden angehören, bleibt dahingestellt.

Prisma zunächst an der Hypotenusenfläche reflektirt und liefern ein Bild bei *b* nahe der jetzt die Austrittsfläche bildenden Kathetenseite des Prismas. Die von diesem Bilde aus weitergehenden Strahlen fallen sodann mit einer Inzidenz von etwa 1^0 auf den zu untersuchenden Hohlspiegel *S* auf, dessen Abstand von der Mitte des Prismentischchens etwa gleich seinem Krümmungsradius, und dessen Aufstellung so gewählt wird, dass die von ihm reflektirten, ursprünglich von dem Diaphragma *C* ausgegangenen Strahlen sich in *c* wiederum zu einem reellen Bilde vereinigen. Der Verlauf der Strahlen von da an bis *T* ist alsdann der gleiche, wie im zuvor erwähnten Falle.

Zur Vereinfachung der weiteren Beschreibung wollen wir die bei der Lage 1 des Reflexprismas nach dem Projektionssystem *H* hingehenden und sich schliesslich auf der Thermosäule *T* vereinigenden Strahlen als die „*direkten*", und wenn sie bei der Lage 2 des Reflexprismas zunächst am Hohlspiegel *S* reflektirt worden sind, als die „*gespiegelten*" Strahlen bezeichnen.

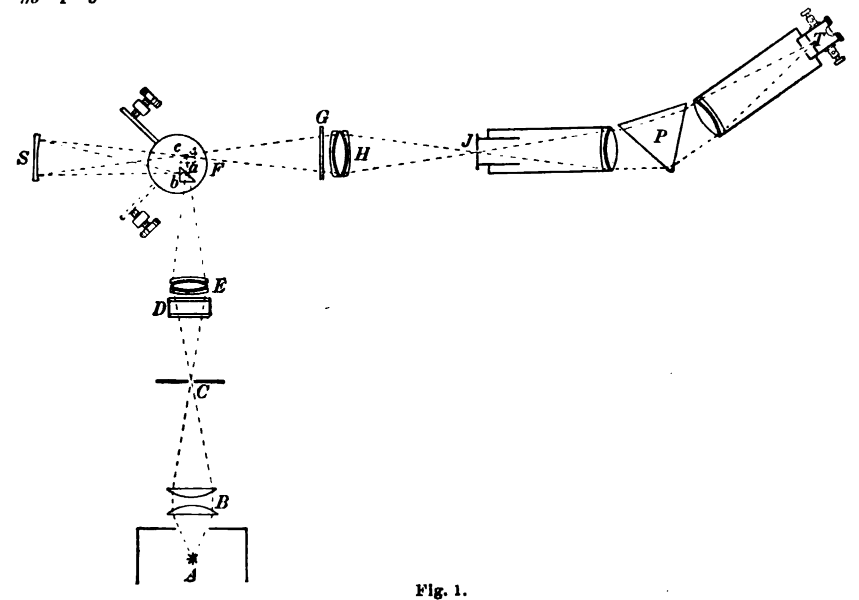


Fig. 1.

Apparate. Das Spektrometer war der in unserer früheren Arbeit verwendete Apparat mit Quarz-Flussspath-Achromaten, sein dispergirendes Quarzprisma ist mit automatischer Minimumstellung versehen, sein Kollimator mit einem einfachen, bilateral verschiebbaren Spalt und sein Beobachtungsrohr mit der bereits erwähnten linearen Thermosäule. Die letztere bestand aus 20 Elementen, die aus 0,1 *mm* dicken Konstantan- und Eisendrähten hergestellt waren. Unmittelbar vor den temperaturempfindlichen Löthstellen derselben befand sich eine geschwärzte Metallblende mit schlitzförmiger Oeffnung von 1 *mm* Weite und solcher Höhe, dass nur die von dem regulären Strahlengang getroffenen Löthstellen der Thermosäule unbedeckt waren. Ein hinter derselben angebrachtes Okular gestattete, ihre richtige Lage zu kontroliren.

Die Projektionslinse *H* und das gleichfalls achromatische System *E* bestehen je aus einer bikonvexen Flussspath- und zwei gleichgeformten konvex-konkaven Quarzlinsen. Das System *H* hat 30 *mm* Oeffnung und 150 *mm* Brennweite, während *E* 28 *mm* Oeffnung und 100 *mm* Brennweite hat. Die in der Figur mit *B* bezeichnete Beleuchtungslinse ist aus zwei einfachen Quarzlinsen von 57 bezw. 45 *mm* Oeffnung und 260 bezw. 150 *mm* Brennweite zusammengesetzt.

Die zu den Versuchen benutzten Hohlspiegel waren dieselben wie die früher von uns verwendeten und sämmtlich von C. Zeiss in Jena hergestellt. Sie haben 40 *mm* Durchmesser und 300 *mm* Krümmungsradius.

Die für die Versuche im Ultraviolett dienende Bogenlampe war Křižik und Piette'scher Konstruktion und von der Firma Schuckert & Co. in Nürnberg bezogen. Die Lampe zeichnete sich bei der Verwendung Siemens'scher A-Kohlen durch ausserordentlich konstantes Brennen aus.

Als Galvanometer diente ein du Bois-Rubens'sches Kugelpanzer-Galvanometer von Siemens & Halske in Berlin, das mit dem schwereren Magnetsystem, 50 Ohm Widerstand und 3,4 Sekunden Schwingungsdauer eine Empfindlichkeit von $3{,}3 \cdot 10^{-10}$ Amp. für 1 *mm* bei $3^1/_2$ *m* Skalenabstand ergab.

Zwischen dem Reflexprisma F und dem Projektionssystem H endlich ist ein vertikal verschiebbarer Schirm G eingeschaltet, der drei übereinander befindliche Fenster besitzt, deren oberstes mit einer planparallelen rothen, das zweite mit einer farblosen Glasplatte und das unterste mit einer Quarzplatte bedeckt ist. Auf den Zweck dieser als Strahlenfilter dienenden Vorrichtung wird weiter unten eingegangen werden.

Aufstellung und Justirung der Versuchsanordnung. Die Art der Aufstellung der ganzen Versuchsanordnung ist aus dem in Fig. 1 dargestellten Strahlengang klar, sodass bezüglich der Justirung wenige Hinweise genügen.

Zunächst hat man, um die richtige Stellung des Hohlspiegels S zu finden, die Neigung seiner Symmetrieachse so lange zu verändern und ihn mikrometrisch vor- oder zurückzuschieben, bis bei ungeänderter Stellung der übrigen Theile sowohl für die Lage 1 wie 2 des Reflexprismas ein vollkommen scharfes Bild des Diaphragmas C auf dem Spalt des Spektrometers entsteht. Um dies leichter wahrnehmen und für *beide* Stellungen des kleinen Reflexprismas den gleichen vertikalen Theil des Diaphragmas C auf dem Spalt entwerfen zu können, war in das Diaphragma ein schräg liegendes Kreuz sehr dünner Drähte eingezogen. War die Einstellung erfolgt, so hatte man alsdann nur noch die festklemmbaren Anschläge des Prismentischchens F so zu stellen, dass sowohl bei der Lage 1 wie 2 des Reflexprismas das Objektiv des Kollimators in genau der gleichen Weise von den Strahlen getroffen wurde. Dies ist an einem vor das dispergirende Quarzprisma vorgesetzten Kartenblatt leicht erkennbar. Man konnte alsdann sicher sein, dass der Verlauf sowohl der „direkten" wie der „gespiegelten", ursprünglich von dem Diaphragma C herkommenden Strahlen auf dem zwischen c und der Projektionslinse H gelegenen Theile der Fig. 1, und in Folge davon auch auf dem ganzen weiteren Wege bis zur Thermosäule T hin, vollständig identisch ist.

Beseitigung des Einflusses der diffusen Strahlen.

Offenbar wird man aus der am Galvanometer beobachteten Wärmewirkung der „direkten" und „gespiegelten" Strahlen nur dann ein brauchbares Resultat für das Reflexionsvermögen des untersuchten Spiegels ableiten können, wenn auf die Thermosäule nur solche Strahlen fallen, welche *ausschliesslich* derjenigen Wellenlänge angehören, auf welche man das Spektrometer gerade eingestellt hat. Das ist nun bei einer Versuchsanordnung, wie sie Fig. 1 zeigt, niemals vollkommen der Fall, vielmehr hat man es da stets mit einer unvermeidlichen mehr oder minder grossen Beimengung *diffuser* Strahlen zu thun. Diese aber erschweren die Energiemessungen gerade im *ultravioletten* Spektralgebiet ungemein, in welchem die Intensität im Vergleich zu derjenigen der Spektralgebiete grösserer Wellenlänge sehr gering ist. Die Energievertheilung in einem Spektrum, welches mittels der Bogenlampe und eines Quarz-

prismas erhalten wird, ist eine derartige, dass die Intensität z. B. bei der Wellenlänge $\lambda = 1000\ \mu\mu$ mindestens 3000-mal so gross ist, als bei $\lambda = 251\ \mu\mu$. Daraus folgt, dass selbst ein *relativ* sehr geringer Theil der Gesammtstrahlung, welcher über das ganze Spektrum diffus ausgebreitet ist, eine prozentisch sehr erhebliche Verunreinigung des ultravioletten Spektrums hervorrufen kann. Man hat dabei zweierlei zu unterscheiden: erstens die Verunreinigung durch *ultrarothe* und zweitens die durch *sichtbare* Strahlen. Die Verunreinigung durch die ultrarothen Strahlen kann man der Hauptsache nach leicht durch Einschalten einer einige Zentimeter dicken Wasserschicht (D in Fig. 1) fortschaffen, welche bewirkt, dass fast sämmtliche ultrarothen Strahlen absorbirt und nur die sichtbaren und ultravioletten hindurchgelassen werden, falls die Wände des Wassergefässes wie in unserer Versuchsanordnung aus planparallelen Quarzplatten bestehen.

Neben den ultrarothen Strahlen kommen als Verunreinigung nur die sichtbaren in Betracht. Um nun auch noch den Einfluss der *diffusen sichtbaren* Strahlen zu eliminiren, kommen zwei Wege in Frage. Entweder könnte man dazu eine Vorrichtung benutzen, welche *alle* Strahlen, mit Ausnahme der zu untersuchenden, beseitigt, wie dies durch die zuerst von Helmholtz angewandte *doppelte* spektrale Zerlegung geschieht. Oder aber man könnte eine Substanz in den Strahlengang einführen, welche nur die zu untersuchende Strahlenart absorbirt und alle anderen hindurchlässt. Für unsere an sich schon komplizirte Versuchsanordnung war nur die letztere Methode anwendbar, obwohl man bei ihr den angestrebten Zweck der Theorie nach weniger vollkommen erreicht, als durch doppelte spektrale Zerlegung. Praktisch aber genügt es, solange es sich um Energiemessungen im *Ultraviolett* handelt, vollständig, wenn die in den Strahlengang eingeschaltete Substanz die zu untersuchende Strahlung absorbirt, die Strahlen von *grösserer* Wellenlänge aber hindurchlässt.

Allerdings ist hierbei noch dem Lichtverlust Rechnung zu tragen, den die verunreinigenden Strahlen *grösserer* Wellenlänge an der Oberfläche der in den Strahlengang eingeschalteten Schicht erfahren. Aus diesem Grunde darf man die letztere nicht einfach aus dem Strahlengang entfernen, sondern muss sie durch eine andere — in unserem Falle durch eine planparallele Quarzplatte — ersetzen, welche angenähert denselben Brechungsexponenten besitzt wie jene, also denselben Lichtverlust durch Reflexion herbeiführt, ohne aber sonst auf die Strahlen irgendwie absorbirend zu wirken.

Ausser der soeben erwähnten Quarzplatte enthält der vor der Projektionslinse H (Fig. 1) vertikal verschiebbare Schirm G, wie bereits auf S. 46 angegeben, noch eine Scheibe aus rothem und eine Scheibe aus farblosem Glas. Hiervon lässt die *rothe* Glasscheibe Strahlen etwa bis zur Wellenlänge 600 $\mu\mu$ hinab durch, die *farblose* Scheibe solche bis etwa 330 $\mu\mu$ und endlich die *Quarzscheibe* alle Strahlen bis 200 $\mu\mu$ hinab.

Handelt es sich daher um die Energiemessung von Strahlen des Wellenlängengebietes 330 und 200 $\mu\mu$, so wird man in den Strahlengang zunächst die farblose Glasplatte einzuschalten, dann diese durch die Quarzplatte zu ersetzen und die bei dieser Vertauschung eintretende Aenderung des Galvanometerausschlages zu beobachten haben.

Analog wird für Wellenlängen zwischen 600 und 330 $\mu\mu$ wechselweise die rothe Glasscheibe und die Quarzscheibe zu benutzen und endlich oberhalb 600 $\mu\mu$ abwechselnd ein Metall- oder Pappschirm anzuwenden und wieder aus dem Strahlengang zu entfernen sein. Hierbei ist als selbstverständlich vorausgesetzt, dass man die Hauptmenge der *ultrarothen* Strahlen durch einen mit destillirtem Wasser gefüllten Quarztrog bereits vorher beseitigt hat.

Dass der bei der Vertauschung des rothen bezw. farblosen Glasschirmes gegen die genannte planparallele Quarzplatte im Galvanometer beobachtete Ausschlag bei unseren Versuchen lediglich von der Energie von Strahlen derjenigen Wellenlänge herrührte, auf welche der Spektralapparat eingestellt ist, dass also der Einfluss der diffusen Strahlung vollständig beseitigt war, geht daraus hervor, dass eine 0,01 *mm* dicke Glimmerplatte die Strahlen von der Wellenlänge 250 $\mu\mu$ *vollständig* absorbirte.

Ausführung der Versuche.

Die Versuchsreihen waren stets in der folgenden Weise angeordnet. Nachdem der Spiegel polirt, im Spiegelhalter befestigt und in der richtigen Stellung justirt war, sodass beim Umlegen des Prismentischchens F die Bilder in vollkommener Schärfe und gleicher Lage auf dem Spektrometerspalt erschienen, wurde der Spektralapparat auf die Wellenlänge $\lambda = 500\ \mu\mu$ eingestellt und das Reflexionsvermögen an dieser Stelle durch eine Reihe von neun Wechselbeobachtungen der für die Lagen 1 und 2 des Reflexprismas erhaltenen Galvanometerausschläge ermittelt. Dasselbe geschah sodann bei den Wellenlängen 450, 420, 385, 357, 326, 305, 288 und 251 $\mu\mu$[1]). Am Schluss und in einigen Fällen auch während der Versuchsreihe wurden die Beobachtungen für $\lambda = 500\ \mu\mu$ wiederholt. Der Quotient der für die Lagen 1 und 2 beobachteten Ausschlagsmittel ergiebt nun nicht ohne Weiteres das Reflexionsvermögen des untersuchten Materials für die betreffende Wellenlänge. Dieses wäre nur dann der Fall, wenn die auf dem Spektrometerspalt bei beiden Prismenstellungen erzeugten Bilder des Diaphragmas C vollkommen gleiche Grösse hätten, eine Bedingung, die im Allgemeinen nicht erfüllt und ohne Hinzunahme komplizirter Hülfseinrichtungen auch nicht erfüllbar sein wird. Die Versuche ergeben daher zunächst nur relative („scheinbare") Werthe des Reflexionsvermögens. Die letzteren lassen sich aber unter Zuhülfenahme der Versuchsergebnisse unserer früher angestellten optischen Messungen ohne Weiteres in absolute („wahre") Werthe verwandeln, indem man sie mit einem für jeden einzelnen Spiegel konstanten Reduktionsfaktor von solcher Grösse multiplizirt, dass das Reflexionsvermögen an der Stelle des Spektrums, welche den Ausgangspunkt[2]) unserer jetzigen Versuchsreihen bildet, den mittels der photometrischen Methode früher erhaltenen Werth annimmt.

Die Werthe für das Reflexionsvermögen sind, falls dasselbe für das untersuchte Material nicht stark mit der Wellenlänge variirt, völlig unabhängig von der Wahl der Spaltbreite. Die letztere wurde in Folge davon für die Beobachtungen bei verschiedener Wellenlänge verschieden gewählt und zwar im Allgemeinen, wie folgt:

bei	700	500	450	420	385	357	326	305	288	251 $\mu\mu$
zu	$^1/_{20}$	$^1/_5$	$^1/_2$	$^3/_4$	$^1/_5$	1	$1^1/_2$	3	4	5 *mm.*

In dem Gebiete kurzer Wellenlängen war die Benutzung so grosser Spaltbreiten angängig, da sie bei der ausserordentlich grossen Dispersion für die ultravioletten Strahlen ein ebenso reines Spektrum liefern, wie ein enger Spalt im sichtbaren Spektralgebiet. Nur bei dem Silber ist die Aenderung des Reflexionsvermögens mit der Wellenlänge so gross, dass engere Spaltbreiten benutzt werden mussten. Dieselben betrugen innerhalb des Spektralgebietes 357 bis 305 $\mu\mu$ nur $1^1/_2$ *mm.*

---

[1]) In einigen Fällen wurde auch bei $\lambda = 338$ und 316 $\mu\mu$ beobachtet.

[2]) Derselbe war $\lambda = 500\ \mu\mu$ für die Untersuchung aller Metalle im *Ultraviolett*, mit Ausnahme von Silber und Gold, für die, ebenso wie für die Berechnung der Versuche im Ultraroth, $\lambda = 700\ \mu\mu$ als Ausgangspunkt gewählt wurde.

Die Einzelheiten der Versuchsergebnisse für sämmtliche Metalle sollen am Schluss erörtert und hier zunächst nur zwei Beispiele einer Beobachtungsreihe im Ultraviolett auszugsweise mitgetheilt werden. Es ist dafür einerseits dasjenige Metall (Silber) gewählt worden, welches in dem genannten Spektralgebiet die ungleichförmigste, und anderseits dasjenige Metall (Platin), welches die gleichförmigste Kurve des Reflexionsvermögens besitzt.

Tabelle 1.

Hohlspiegel aus	Wellenlänge	Spaltbreite	Galvanometer-Ausschläge				Scheinbares Reflexionsvermögen
			„direkte" Strahlung		„gespiegelte" Strahlung		
	$\mu\mu$	mm	beob.	im Mittel a	beob.	im Mittel b	$\frac{b}{a}\cdot 100$ %
Silber (frisch hergestellt)	500	0,2	257 254 242 257 263 256	255	200 188 209 205 198	200	78,5
	338	1	26,8 25,0 22,8 27,0	25,4	12,9 12,6 11,0 12,2 11,3	12,0	47,3
	316	2	13,3 14,6 12,0 13,0 14,2	13,4	0,5 0,6 0,3 0,4 0,5 0,6	$0{,}4_8$	3,6
	251	5	6,0 6,2 5,9 5,4 5,3	$5{,}7_6$	1,9 1,8 1,5 1,8 1,7 1,3	$1{,}6_7$	29,0
Platin	500	0,2	169 173 171 174 172	170,2	84 84 84 84	84	49,3
	420	0,7	225 224 221 232 216	223,6	96 99 97 96	97	43,8
	357	2	189 186 194 190 180	187,8	71 71 66 68	69	36,7
	251	6	7,3 7,2 7,8 8,0 7,7 8,0 7,3 6,3	$7{,}4_5$	1,9 1,9 2,2 1,9 2,3 2,5 2,2	$2{,}1_3$	28,6
	500 (Kontrole)	0,2	226 206 226 239 225	224,4	105 113 112 110	110	49,5

Die in der letzten Vertikalspalte für Silber angegebenen „scheinbaren" Reflexionsvermögen müssen, da mittels der photometrischen Methode früher von uns für Silber bei $\lambda = 500$ der Werth 91,8 % ermittelt worden ist, noch mit $\frac{91{,}8}{78{,}5} = 1{,}169$ multiplizirt werden. Es folgen dann für die angegebenen vier Wellenlängen als „wahre" Reflexionsvermögen des Silbers die Werthe 91,8; 55,3; 4,2; 33,9 %. Die analoge Umrechnung mit dem Reduktionsfaktor $\frac{58{,}4}{49{,}4} = 1{,}185$ giebt für Platin beziehungsweise die Werthe 58,4; 51,8; 43,4; 33,8 %.

Um uns davon zu überzeugen, dass die im Vorstehenden beschriebene Methode zu richtigen Resultaten führt, haben wir im sichtbaren Spektral-Gebiet die relativen Werthe des Reflexionsvermögens für Silber und Gold ermittelt, die so erhaltenen Zahlen mit dem erforderlichen Reduktionsfaktor multiplizirt und mit den Ergebnissen unserer optischen Untersuchung für die genannten Metalle verglichen. Es zeigte sich durchweg eine gute Uebereinstimmung zwischen den nach den beiden so sehr verschiedenen Methoden erhaltenen Werthen, wie aus nachfolgender Gegenüberstellung der auf beide Weisen erhaltenen Zahlen hervorgeht:

	Benutzte Methode	450	500	550	600	650	700 $\mu\mu$
Silber	Photometrie	90,6	91,8	92,5	93,0	93,6	94,6
	Wärmestrahlung	90,4	90,8	92,8	92,2	93,4	94,6
Gold	Photometrie	36,8	47,3	74,7	85,6	88,2	92,3
	Wärmestrahlung	31,3	46,8	73,2	83,3	89,5	92,3

Besonders beweiskräftig hierfür sind die Versuche mit dem Goldspiegel, da hier die Grösse des Reflexionsvermögens vom Blau bis zum Roth nahezu im Verhältniss 1 : 3 variirt und die beobachteten Abweichungen auf kleine Einstellungsfehler am Theilkreis zurückzuführen sind. Eine die Grenzen der Beobachtungsfehler überschreitende Abweichung findet sich nur bei der Wellenlänge 450 $\mu\mu$. Der Grund hierfür liegt hauptsächlich in der Unsicherheit, welche der Photometrie im violetten Theil des Spektrums wegen der oben bereits angegebenen Gründe naturgemäss anhaftet. Man wird daher die nach der neuen Methode im Violett ($\lambda = 450$) erhaltenen Werthe als die besseren anzusehen haben.

II. Ultrarother Theil.

Wie bereits in der Einleitung (*S. 43* Abs. 3) erwähnt wurde, ist unsere Methode für das ganze Spektralgebiet anwendbar und gestattet das „wahre" Reflexionsvermögen eines Spiegels für *alle* Wellenlängen zu ermitteln, sobald man dasselbe für eine einzelne dieser Wellenlängen, deren Werth alsdann den Anschlusspunkt bilden soll, zuvor auf photometrischem Wege (absolut) bestimmt hat. Voraussetzung ist dabei nur, dass der für diese Wellenlänge abgeleitete Reduktionsfaktor, welcher gleich dem Verhältniss des früher ermittelten „wahren" zu dem jetzt gewonnenen „scheinbaren" Reflexionsvermögen ist, auch für *alle anderen* Wellenlängen Gültigkeit hat. Das aber hängt lediglich davon ab, ob die von den „direkten" und den „gespiegelten" Strahlen auf dem Spektrometerspalt gelieferten Bilder für eine gegebene Versuchsanordnung stets die gleiche Grösse haben, d. h. innerhalb welches Wellenlängen-Gebietes der als Projektions-System benutzte Quarz-Flussspath-Achromat (*H* in Fig. 1) als achromatisch angesehen werden kann. Das genannte Linsen-System war von der Firma C. Zeiss in Jena so berechnet, dass es für $\lambda = 300$ $\mu\mu$ am Besten korrigirt war. Die nachstehende Tabelle 2 enthält nun in der obersten Reihe die Wellenlängen, in der zweiten und dritten Reihe die zugehörigen Brechungsexponenten, und in der letzten Reihe die aus den Brennweiten der einzelnen drei Linsen des Systems durch Rechnung gefundenen Brennweiten für die verschiedenen Wellenlängen zwischen 186 und 2500 $\mu\mu$. Man erkennt, dass das System für Wellenlängen bis 1500 $\mu\mu$ als völlig ausreichend achromatisch anzusehen ist, erst für $\lambda = 2000$ und

Tabelle 2.

$\lambda =$	186	360	656	1000	1500	2000	2500 $\mu\mu$
n (Quarz)	1,6750	1,5635	1,5418	1,5352	1,5287	1,5211	1,5120
n_1 (Flussspath)	1,5094	1,4455	1,4325	1,4290	1,4265	1,4241	1,4212
Brennweite in *mm* . . .	150,2	150,3	151,3	149,7	149,4	147,1	144,6

$\lambda = 2500$ $\mu\mu$ ergeben sich erhebliche Abweichungen. Es folgt daraus, dass unsere für das Ultraviolett benutzte Versuchsanordnung unmittelbar auch für das *Ultraroth* anwendbar war. Es war dazu nur nothwendig, den mit Wasser gefüllten Quarztrog *D* zu entfernen. Die Methode gestaltete sich dabei insofern wesentlich einfacher, als

es hier nicht mehr erforderlich war, eine elektrische Bogenlampe als Lichtquelle zu benutzen. Dieselbe wurde daher für die Versuche im Ultraroth durch einen frei brennenden Nernst'schen Glühkörper ersetzt.

Als ein Beispiel einer Beobachtungsreihe im Ultraroth dienen folgende auszugsweise für einige Wellenlängen mitgetheilten Versuchsdaten für Gold.

Tabelle 3.

Hohlspiegel aus	Wellenlänge $\mu\mu$	Spaltbreite mm	Galvanometer-Ausschläge									Scheinbares[1]) Reflexionsvermögen $\frac{b}{a} \cdot 100$ %
			„direkte" Strahlung				„gespiegelte" Strahlung					
			beob.			im Mittel a	beob.				im Mittel b	
Gold	700	0,15	88,2	88,3	88,1	88,2	67,0	67,1	67,0	67,0	67,0	76,0
	800	0,15	168,0	167,0	166,8	167,3	130,0	131,0	131,5	131,5	131,0	78,3
	1000	0,15	235,8	237,0	236,0	236,3	190,0	189,5	189,6	189,0	189,7	80,2
	1500	0,15	157,0	156,2	156,5	156,6	125,4	125,6	125,4	125,0	125,3	80,3

Versuchs-Ergebnisse.

Die Mittelwerthe aller Ergebnisse der vorstehenden Untersuchung für das *Ultraviolett* und *Ultraroth*, sowie derjenigen unserer früheren (photometrischen) Arbeit und einer Anzahl von gleichfalls auf optischem Wege neuerdings ausgeführten Kontrolreihen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Die darin für das Wellenlängengebiet 251 bis 700 $\mu\mu$ mitgetheilten Zahlen unterscheiden sich nur bezüglich der Werthe für *Silber* („*alt*"), *Stahl* und *Kupfer* von den in den *Verhandl. d. Deutsch. physik. Gesellsch.* **3.** *S. 173. 1901* abgedruckten, und zwar bei dem 3 Jahre alten Silber- und dem Stahlspiegel aus dem Grunde, weil inzwischen noch erneute Bestimmungen des Reflexions-Vermögens im sichtbaren Theile des Spektrums für diese Spiegel ausgeführt worden sind, welche eine Umrechnung der Werthe für 251 bis 420 $\mu\mu$ nothwendig machten.

Für das *Kupfer* sind in der Tabelle 4 zwei Zahlenreihen eingesetzt. Die erste (für 450 bis 700 $\mu\mu$) gilt für einen von C. Zeiss in Jena hergestellten und dann von uns seiner Zeit mit einem dünnen, galvanisch niedergeschlagenen Ueberzug versehenen Kupferspiegel. Diese Kupferhaut muss indess allmählich durch das wiederholte Poliren des Spiegels abgerieben worden sein, denn der Spiegel ergiebt jetzt für das Reflexions-Vermögen kleinere Werthe, welche sehr nahezu mit denjenigen übereinstimmen, welche er *vor* der Verkupferung s. Zt. ergeben hatte[2]). Aus diesem Grunde ist die zweite Zahlenreihe in der Tabelle als für „reinstes Handels-Kupfer" gültig bezeichnet worden.

Das Verhalten der einzelnen Metalle hinsichtlich ihres Reflexionsvermögens im Ultraviolett und im sichtbaren Spektralgebiet ist aus den Fig. 2, 3 und 4 ersichtlich, welche den Inhalt der Tabelle 4 von 250 bis 700 $\mu\mu$ in graphischer Form wiedergeben und in welche Obigem zu Folge für $\lambda = 450\ \mu\mu$ stets der neu erhaltene Werth des Reflexionsvermögens eingetragen ist.

[1]) Aus den in der letzten Vertikalspalte angegebenen Zahlen folgt das „wahre" Reflexionsvermögen durch Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor $\frac{92,3}{76,0}$.

[2]) Vgl. E. Hagen und H. Rubens, *Ann. d. Physik* **1.** *S. 372. 1900.*

Tabelle 4.

Reflexionsvermögen in Prozenten der auffallenden Strahlung.

für λ =	251	288	305	316	326	338	357	385	420	450	500	550	600	650	700	800	900	1000	1200	1500 μμ
Silber (frisch)	34,1	21,2	9,1	4,2	14,6	55,5	74,5	81,4	86,6	90,5	91,3	92,7	92,6	93,5	94,6	96,3	—	96,6	—	98,4
Silber (alt)	17,6	14,5	11,2	5,1	8,0	41,1	55,7	65,0	73,0	81,1	83,9	85,0	86,3	88,6	—	91,6	—	94,4	97,1	98,5
Platin	33,8	38,8	39,8	—	41,4	—	43,4	45,4	51,8	54,7	58,4	61,1	64,2	66,3	69,0	70,3	73,6	75,5	77,7	79,0
Nickel	37,8	42,7	44,2	—	45,2	46,5	48,8	49,6	56,6	59,4	60,8	62,6	64,9	65,9	68,8	69,6	71,6	73,5	76,5	81,4
Stahl (ungehärtet)	32,9	35,0	37,2	—	40,3	—	45,0	47,8	51,9	54,4	54,8	54,9	55,4	55,9	57,6	58,0	—	62,3	67,8	71,9
Gold	38,8	34,0	31,8	—	28,6	—	27,9	27,1	29,3	33,1	47,0	74,0	84,4	88,9	92,3	94,9	96,4	97,1	97,6	97,3
Kupfer (galvanisch verkupfert)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48,8	53,3	59,5	83,5	89,0	90,7	—	—	—	—	—
" (reinstes des Handels)	25,9	24,3	25,3	—	24,9	—	27,3	28,6	32,7	37,0	43,7	47,7	71,8	80,0	83,4	88,6	91,6	93,0	95,1	94,5
Rosse'sche Legirung 68,2 Cu + 31,8 Sn (identisch mit Brashear)	29,9	37,7	41,7	—	—	—	51,0	53,1	56,4	60,0	63,2	64,0	64,3	65,6	66,8	71,5	74,1	74,6	75,4	76,5
Schröder'sche Legirung Nr. 1 66 Cu + 22 Sn + 12 Zn	40,1	48,4	49,8	—	54,3	—	56,6	60,0	62,2	62,6	62,5	63,4	64,2	65,1	67,2	71,5	73,2	74,9	76,1	76,5
Schröder'sche Legirung Nr. 6 60 Cu + 30 Sn + 10 Ag	39,2	42,7	44,7	—	50,1	—	53,0	55,3	59,6	60,8	62,5	63,6	65,2	66,6	69,4	74,5	74,9	76,0	76,1	77,0
Mach'sches Magnalium 69 Al + 31 Mg	67,0	70,6	72,2	—	75,5	—	81,2	83,9	83,3	83,4	83,3	82,7	83,0	82,1	83,3	84,3	—	84,1	—	83,6
Brandes-Schünemann'sche Legirung 41 Cu + 26 Ni + 24 Sn + 8 Fe + 1 Sb	35,8	37,1	37,2	—	39,3	—	43,3	44,3	47,2	49,2	49,3	48,3	47,5	49,7	54,9	63,1	—	71,3	—	80,9

Die in diesen drei Figuren enthaltenen Kurven zeigen, dass das Reflexionsvermögen des Silbers unterhalb der Wellenlänge 450 $\mu\mu$ schnell abfällt und nahe bei 320 $\mu\mu$ ein Minimum von etwa 4 Proz. erreicht, dessen Lage übrigens schon von Hrn. Schumann und von Hrn. Glatzel[1]) bei ihren photographischen Versuchen richtig erkannt war. Das Auftreten dieses Reflexions-Minimums steht im Einklang mit den Versuchen der Hrn. Liveing und Dewar[2]) aus dem Jahre 1883, welche feststellten, dass die von Chardonnet[3]) beobachtete Durchlässigkeit des Silbers für ultraviolette Strahlen sich auf ein enges Spektralgebiet zwischen $\lambda =$ 309 und 325 $\mu\mu$ beschränkt. Auch Hrn. Nutting's Versuche haben diese Thatsache neuerdings[4]) bestätigt. Während Silber für sichtbare Strahlen unter den Metallen die bei Weitem am Besten reflektirende Substanz ist, zeigt es für ultraviolette Strahlen von 250 bis 350 $\mu\mu$ von allen untersuchten Metallen das geringste Reflexionsvermögen und reflektirt bei 320 $\mu\mu$ weniger als eine einzelne Quarzfläche, deren Reflexionsvermögen bei dieser Wellenlänge gleich 4,92 Proz. ist.

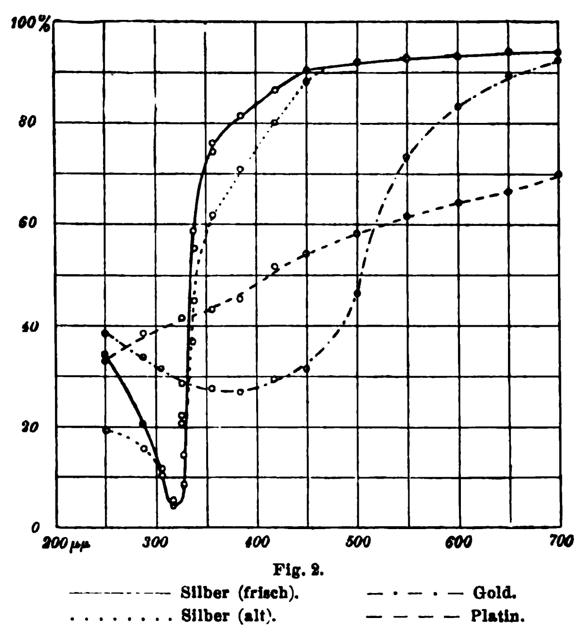


Fig. 2.

——— Silber (frisch). .... Silber (alt). — · — · — Gold. — — — — Platin.

Die in der Fig. 2 durch eine ausgezogene Linie für Silber angegebene Kurve giebt das Reflexionsvermögen eines frisch hergestellten Silberspiegels an, während die punktirte Kurve sich auf einen frisch polirten, aber etwa drei Jahre alten Silberspiegel[5]) bezieht. Aeusserlich unterscheiden sich beide Spiegel nicht merklich von einander.

Im Gegensatz zum Verhalten des Silbers zeigt das Reflexionsvermögen des Goldes, ebenso wie das des Kupfers, im sichtbaren Spektralgebiet erheblich stärkere Aenderungen als im Ultraviolett. Bei beiden Metallen tritt im Ultraviolett ebenso wie beim Silber ein Minimum des Reflexionsvermögens hervor, doch ist dasselbe weit weniger

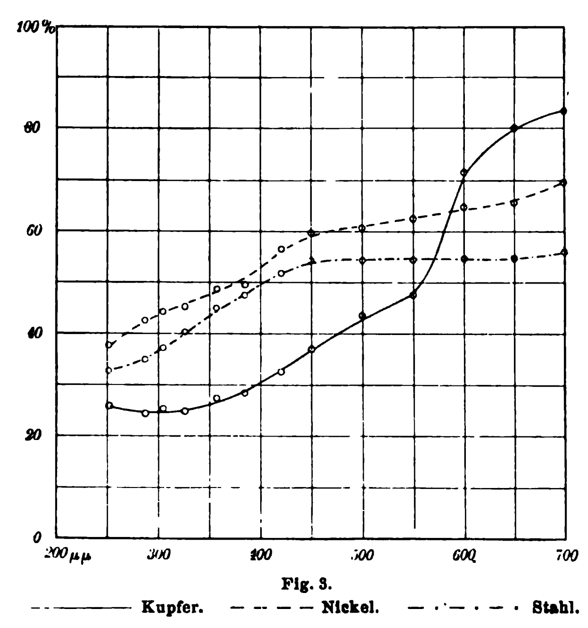


Fig. 3.

——— Kupfer. — — — — Nickel. — · — · — Stahl.

[1]) *A. a. O.*

[2]) G. D. Liveing und J. Dewar, *Chem. News* **47.** *S. 121. 1883.*

[3]) Chardonnet, *Compt. rend.* **94.** *S. 1171. 1882.*

[4]) *A. a. O.*

[5]) Die für einen 3 Jahr alten Silberbelag dargestellte Kurve der Fig. 2 bezieht sich auf einen anderen Silberspiegel als den in der Tabelle 4 für Silber (alt) angegebenen.

stark ausgeprägt. Platin, Eisen und Nickel zeigen für alle untersuchten Strahlen angenähert den gleichen Verlauf. Interessant ist hierbei der deutlich erkennbare Parallelismus der Eisen- und Nickelkurve, welcher bekanntlich auch schon früher im ultrarothen Spektralgebiet beobachtet worden ist[1]).

Bezüglich des Reflexionsvermögens der *Spiegelmetalle* (Fig. 4) war bereits in unserer früheren Arbeit darauf hingewiesen, dass das Rosse'sche bezw. Brashear-sche Spiegelmetall und die Schröder'schen Legirungen nahezu ein gleiches und dem des reinen Nickels ausserordentlich ähnliches Verhalten zeigen, sodass die entsprechenden Kurven für den sichtbaren Theil des Spektrums fast genau übereinanderfallen. Im ultravioletten Spektralgebiet sind die Unterschiede grösser und zwar erweist sich die 12 Proz. Zink enthaltende Schröder'sche Legirung Nr. 1 den beiden anderen genannten Spiegelmetallen überlegen. Die Kurve der 10 Proz. Silber enthaltenden Schröder'schen Legirung Nr. 6 liegt an allen Stellen zwischen den beiden anderen. Die in die Fig. 4 eingezeichneten Punkte, welche die beobachteten Werthe für die Schröder'sche Legirung Nr. 6 darstellen, zeigen bis etwa 325 $\mu\mu$ ein rascheres Abfallen des Reflexionsvermögens, welches seinen Grund in dem Silbergehalte der Legirung haben dürfte.

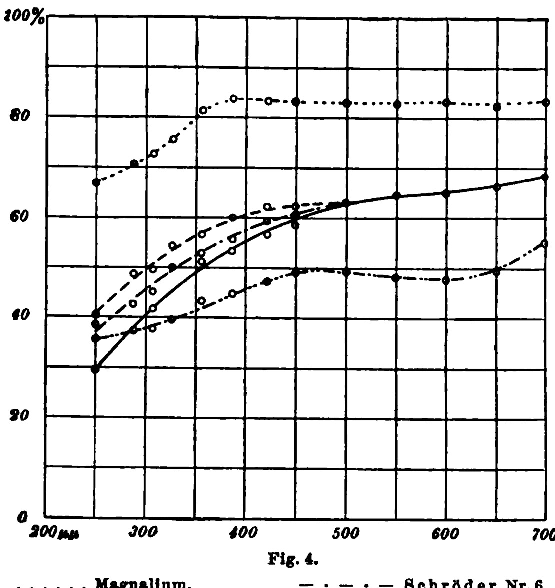


Fig. 4.

...... Magnalium. — · — · — Schröder Nr. 6.
— — — Schröder Nr. 1. —— — Rosse (Brashear).
— ·· — ·· — Brandes & Schünemann.

Ein total abweichendes Verhalten zeigt einerseits das Brandes & Schünemann'sche Spiegelmetall und andererseits das Mach'sche Magnalium. Ersteres besitzt ein verhältnissmässig niedriges Reflexionsvermögen. Indess hat sich die von uns schon früher hervorgehobene, vortreffliche Haltbarkeit dieser Legirung auch weiterhin bestätigt. Ein seit dem Januar 1899 in freier Luft aufgehängter derartiger Spiegel, welcher seit dieser Zeit sämmtlichen atmosphärischen Einflüssen (Schnee, Regen, Staub) ausgesetzt war, hat sich bezüglich seiner Oberflächenbeschaffenheit kaum geändert.

Wie aus der Fig. 4 und der Tabelle 4 weiter ersichtlich ist, zeichnet sich das Magnalium durch ein ausnehmend hohes Reflexionsvermögen aus, welches für das Spektralbereich zwischen $\lambda = 385$ und $\lambda = 1500$ $\mu\mu$ nahezu konstant ist. Unterhalb 385 $\mu\mu$ fällt die Kurve langsam ab, aber selbst für $\lambda = 251$ $\mu\mu$ beträgt das Reflexionsvermögen immer noch 67 Proz.

Bezüglich des Verhaltens der Metalle hinsichtlich ihres Reflexionsvermögens für *ultrarothe* Strahlen, wie es sich in den in der Tabelle 4 für $\lambda = 800$ bis 1500 $\mu\mu$ mitgetheilten Zahlen ausdrückt, ist wenig hinzuzufügen. Der Verlauf der Erscheinung ist hier ausserordentlich viel gleichförmiger als im sichtbaren und im ultravioletten Spektralgebiet.

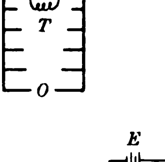
[1]) H. Rubens, *Wied. Ann.* **37.** *S. 265. 1889.*

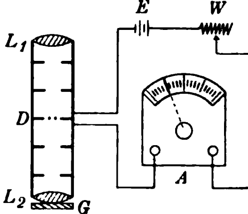
Referate.

Ueber ein optisches Pyrometer.

Von L. Holborn und F. Kurlbaum. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1901. S. 712.*

Das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Pyrometer beruht darauf, dass die vom erhitzten Körper, dessen Temperatur zu ermitteln ist, ausgehende homogene Strahlung photometrirt wird. Es sei K dieser (streng genommen „absolut schwarze") Körper, O eine leuchtende Oeffnung desselben; die Linse L_1 des Pyrometers entwirft dann ein Bild der Oeffnung, welches in die Ebene des Diaphragmas D fällt. Hier befindet sich eine zweite Lichtquelle von messbarer, veränderlicher Intensität, welche durch die Linse L_2 mit dem vorgesetzten rothen Glase G betrachtet wird. Die Lichtquelle bei D ist eine kleine Glühlampe für 4 Volt mit bügelförmigem Kohlefaden (in der Figur durch die beiden Punkte angedeutet), welche von der Batterie E gespeist wird, und deren Helligkeit durch Veränderung des vorgeschalteten Widerstandes W variirt werden kann. Ein Maass für die Helligkeit der Lampe ist die am Strommesser A abzulesende Stromstärke.





Die Messung geschieht nun in der Weise, dass der Widerstand W so lange verändert wird, bis der durch die Linse L_2 betrachtete, in der von O aus beleuchteten Fläche des Diaphragmas D befindliche Kohlenbügel der Lampe verschwindet. Dieses photometrische Kriterium ist ausserordentlich scharf, da die photometrische Helligkeit in dem benutzten Spektralgebiet ungefähr mit der 10. Potenz der Temperatur fortschreitet, was wesentlich zu der verhältnissmässig grossen Messgenauigkeit des Instrumentes beiträgt. Der Strommesser A (d'Arsonval'scher Typus) kann direkt mit einer in Temperaturgrade getheilten Skale versehen werden, welche empirisch zu ermitteln ist.

Die Aichung des Pyrometers hat in der Weise zu geschehen, dass die Temperatur des anvisirten Körpers K unmittelbar gemessen wird; diese Temperaturbestimmung geschieht bis zu ziemlich hohen Temperaturen (etwa 1500°) in bequemer Weise mittels des Le Chatelier'schen Thermoelements T, welches ja bis gegen 1150° mit dem Gasthermometer direkt verglichen ist. Die mitgetheilten Messungen ergeben einen durch eine quadratische Formel darstellbaren Zusammenhang zwischen der Temperatur des glühenden Körpers und der Stromstärke einer gleich hellen 4 Volt-Lampe, wenigstens soweit das Temperaturgebiet von etwa 700° bis 1500° in Frage kommt. Eine solche, für eine bestimmte Lampe geltende Formel sei hier wiedergegeben:

$$i \cdot 10^3 = 166{,}0 + 0{,}16288\,t + 0{,}00013045\,t^2,$$

in der i die Stromstärke der Lampe in Ampere bedeutet, und deren Resultate von den direkt beobachteten um den maximalen Betrag von nur 10° bei 1300° abweichen.

Wird die Lampe nur bis zur Temperatur des normalen Glühens (1850° bis 2000°) benutzt, so ist die beschriebene Anordnung bis zu dieser Grenze unter Extrapolation der Formel verwendbar. „Da man mit Hülfe des Wien'schen Gesetzes für jede Intensität des rothen Lichtes die zugehörige Temperatur berechnen kann, so ist die Anwendbarkeit der Methode nicht durch die Temperatur der Glühlampe begrenzt, sondern man kann bei einer passenden Schwächung der Strahlungsquelle, etwa durch Reflexion an Glasplatten, dem Strommesser eine zweite Skale für höhere Temperaturen beifügen." *Rt.*

Zur Doppelbrechung von Krystallen.

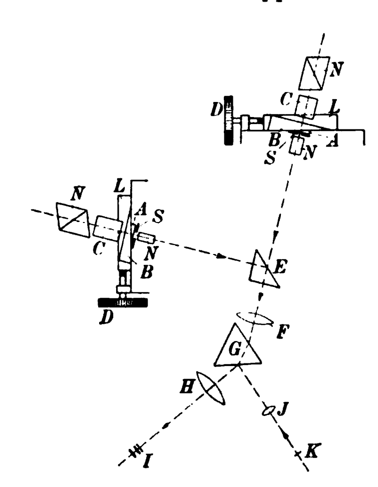
Von J. Rendtorff. *Phil. Mag.* **1.** *S. 539. 1901.*

Auf eine parallel zur optischen Achse geschliffene Krystallplatte mögen linear polarisirte Lichtstrahlen senkrecht auffallen. Der Gangunterschied δ, welchen die parallel und senkrecht zur Achse der Platte polarisirten Strahlen bei ihrem Durchtritt erleiden, ist dann

$$\delta = D(n_e - n_o) = N\lambda,$$

wo D die Dicke der Platte, n_o bezw. n_e den ordentlichen bezw. den ausserordentlichen Brechungsexponenten des Krystalls für Strahlen von der Wellenlänge λ und N die Interferenz-Ordnungszahl bezeichnet. Der Gangunterschied ist demnach eine Funktion von der Dicke der Platte, der Stärke der Doppelbrechung und der Wellenlänge.

In der vorliegenden Arbeit bestimmt nun der Verf. nach einer Methode, ähnlich derjenigen, welche zuerst von Brace benutzt worden ist, relativ zu einander die Gangunterschiede in Kalkspath, Selenit, Quarz und Glimmer für die verschiedenen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. In das mit weissem Licht beleuchtete Polarisationsinstrument mit gekreuzten Nicols wird die Krystallplatte so gelegt, dass die Polarisationsebene der auffallenden Strahlen einen Winkel von 45° mit der optischen Achse des Krystalls bildet. Wird dann das aus dem Apparat kommende Licht mittels eines Spektrometers zerlegt, so ist das Spektrum von einer Reihe schwarzer Interferenzstreifen durchzogen. Für die ausgelöschten Wellenlängen ist N eine ganze Zahl. Diese Interferenzstreifen werden im Spektrum wandern, wenn man die Dicke der aus zwei Keilen zusammengesetzten Krystallplatte ändert.



Um die Interferenz-Spektra zweier Krystalle bequem mit einander vergleichen zu können, werden mit Hülfe des in der nebenstehenden Figur skizzirten Apparates die beiden Spektra dicht übereinander entworfen. N sind die Nicols und A, B, C die beiden Krystalle; die beiden auf den Schlitten L befestigten Keile B lassen sich mittels der Schrauben D bewegen. E ist ein total reflektirendes Prisma und F, G, H, I das Spektrometer, dessen Spalte S sind. Im Gesichtsfeld erscheint gleichzeitig das Bild einer in der Brennebene der achromatischen Linse J befindlichen Skale K.

Auf diese Weise werden nun im Weiteren für je zwei der oben erwähnten Krystalle die Ordnungszahlen für die D-Linie ermittelt, bei welchen die Interferenzerscheinung möglichst achromatisch wird, d. h. die Interferenzstreifen für ein grösseres Gebiet des Spektrums möglichst genau übereinander zu liegen kommen. So liefern z. B. Kalkspath und Quarz achromatische Gangunterschiede, d. i. die besten Koinzidenzen der Interferenzstreifen durch das ganze Spektrum, wenn die Ordnungszahlen 212 bezw. 222 sind. Durch Kombination zweier solcher Platten verschiedener Krystalle mit gekreuzten optischen Achsen ist es dann möglich, für alle Wellenlängen einen nahezu gleichen Gangunterschied zu erzielen.

Schck.

Ueber die Dispersion ultravioletter Strahlen.

Von F. F. Martens. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 603. 1901.*

Die Messung der Brechungsexponenten ultravioletten Lichts erstreckte sich auf folgende Substanzen: Flussspath, Sylvin, Steinsalz, Kalkspath, linksdrehenden Quarz, Schwefelkohlenstoff, Aethylalkohol. Die Spektren der doppelbrechenden Substanzen wurden durch ein Wollaston'sches Prisma getrennt. Die Flüssigkeiten wurden in einem Hohlprisma nach der Methode der gekreuzten Spektra untersucht; die Anordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich, die horizontal schraffirten Theile sind aus Quarz hergestellt; der Prismenwinkel betrug 1° 10′. Zur Aufsuchung der Banden metallischer Absorption und Reflexion diente ein Flussspathkörper K (Fig. 2); die von der Funkenstrecke F ausgehenden Strahlenbüschel werden durch die sphärische Eintrittsfläche a parallel gemacht, 4-mal unter einem Einfallswinkel von 20° reflektirt und durch die sphärische Austrittsfläche b konvergent gemacht; S ist der Spalt des Spektrographen. Die Flüssigkeit wird zur Untersuchung auf die reflektirenden Flächen gebracht und mit mattirten Glasplatten bedeckt.

Zur Darstellung der erhaltenen Dispersionswerthe in Verbindung mit den Resultaten älterer Beobachter für andere Spektralbezirke und auch für einige andere Substanzen wurde die Ketteler-Helmholtz'sche Formel benutzt, deren allgemeine Form lautet

$$n^2 = 1 + \Sigma \frac{m_k\, l_k^2}{\lambda^2 - \lambda_k^2},$$

wo n der Brechungsexponent für die Wellenlänge λ ist, m_k die Dielektrizitätskonstante der k-ten Ionengattung, die durch die auffallende Strahlung λ_k zum Mitschwingen gebracht wird. Für die Darstellung wurden bei den verschiedenen Substanzen acht verschiedene Spezialformen

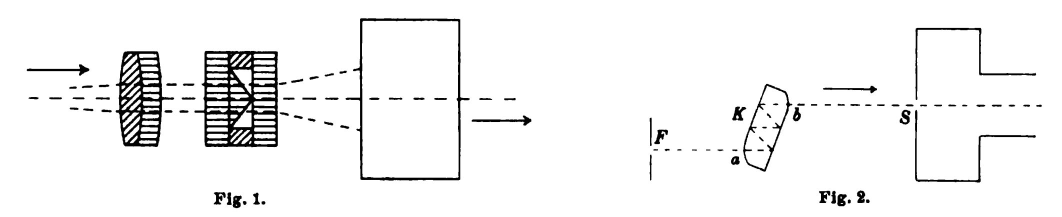


Fig. 1. Fig. 2.

benutzt; die Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe war eine sehr befriedigende. Auf Quarz und Kalkspath wurde die Dispersionsformel nicht angewendet, da zuvor noch einige experimentelle Bestimmungen wünschenswerth wären.

Zum Schluss stellt der Verf. fest, dass bei einigen Substanzen das Vorhandensein gewisser Elemente das Auftreten bestimmter Absorptionsbanden bedingt. Bei Steinsalz, Sylvin und Kassiaöl erwartet er Durchlässigkeit für sehr kleine Wellenlängen zwischen 0 und 50 $\mu\mu$; er macht wahrscheinlich, dass V. Schumann bei seinen Aufnahmen im Vakuumspektrographen bis zur Wellenlänge 125 $\mu\mu$ vorgedrungen sei. *A. K.*

Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes.

Von P. Lebedew. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 433. 1901.*

Wenn ein Bündel paralleler Lichtstrahlen normal auf eine Fläche fällt, so erfährt die Fläche nach Maxwell's elektromagnetischer Lichttheorie einen Druck, der gleich ist der pro Sekunde auffallenden Energie E, dividirt durch die Lichtgeschwindigkeit V und multiplizirt mit dem Faktor $(1 + \varrho)$, wo ϱ das Reflexionsvermögen der Fläche bedeutet, also

$$p = \frac{E}{V}(1 + \varrho).$$

Die Sonnenstrahlung übt hiernach bei senkrechter Inzidenz auf eine spiegelnde Fläche ($\varrho = 1$) von 1 *qm* einen Druck von 0,8 *mg* aus. Diesen ausserordentlich geringen Druck des Lichtes, der in theoretischen Folgerungen zur Ableitung der Strahlungsgesetze eine grosse Rolle spielt, experimentell nachzuweisen, ist zum ersten Mal dem russischen Forscher Lebedew gelungen[1]). Er beobachtete die Ablenkung, welche die Lichtstrahlen einer Torsionsvorrichtung von gemessener Direktionskraft ertheilten, wenn sie auf einen seitlich angebrachten Flügel fielen. Das abzulenkende System hing an einem 30 *cm* langen Glasfaden in einem evakuirten Glasballon und bestand aus einem mittels einfacher Drahtschlingen kardanisch aufgehängten vertikalen Glasstabe, der in seitlichem Abstande von etwa 1 *cm* mehrere kreisrunde Scheibchen von 5 *mm* Durchmesser, die „Flügel", trug. Diese waren aus sehr dünnem Blech (0,02 bis 0,1 *mm*) ausgestanzt und bei den drei zur Verwendung gelangten Systemen

[1]) Inzwischen ist bereits von anderer Seite das gleiche Resultat erlangt worden, nämlich von E. F. Nichols und G. F. Hull, Vorläufige Mittheilung über den Druck der Licht- und Wärmestrahlung. *Phys. Rev.* **13.** *S. 307. 1901.* Auf den Inhalt, der sich naturgemäss zum Theil mit dem der Lebedew'schen Arbeit deckt, soll hier nicht näher eingegangen werden. Nur der eine Punkt sei hervorgehoben, dass von den amerikanischen Forschern auf die Erzeugung eines möglichst hohen Vakuums nicht die Sorgfalt verwandt ist, die Lebedew dafür ausdrücklich fordert.

theils an schmalen Blecharmen, theils an zwei dünnen, zwischen horizontalen Armen dem Glasstabe parallel gespannten Platindrähtchen befestigt in der Art, wie Fig. 1 zeigt.

Die Anordnung des gesammten Apparates ist in Fig. 2 dargestellt.

Von dem Krater der Gleichstrombogenlampe B wird durch die Linse C auf dem Metalldiaphragma D ($d = 4$ *mm*) ein Bild entworfen. Die austretenden Lichtstrahlen werden durch die Linse K parallel gemacht, durchsetzen zur Reinigung von ultrarothen Strahlen das Absorptionsgefäss W (Wasserschicht von 1 *cm*), werden dann von den Spiegeln $S_1\,S_2\,S_3$ reflektirt und von der Linse L_1 (von 20 *cm* Brennweite) zu einem vergrösserten Bilde ($d = 10$ *mm*) des Diaphragmas D an dem Orte des Flügels R im Innern des Glasballons vereinigt. Durch Verschieben des Spiegelpaares $S_1\,S_4$ konnte man die Lichtstrahlen auf einem analogen Wege auf die andere Seite des Flügels fallen lassen. Um die Konstanz der Bogenlampe zu prüfen, wurde ein Theil der Strahlung von der schräg gestellten Glasplatte P_1 seitlich reflektirt und auf die Thermosäule T aus 5 Eisen-Konstantan-Elementen geworfen, deren Ausschlag an einem D'Arsonval'schen Galvanometer beobachtet wurde.

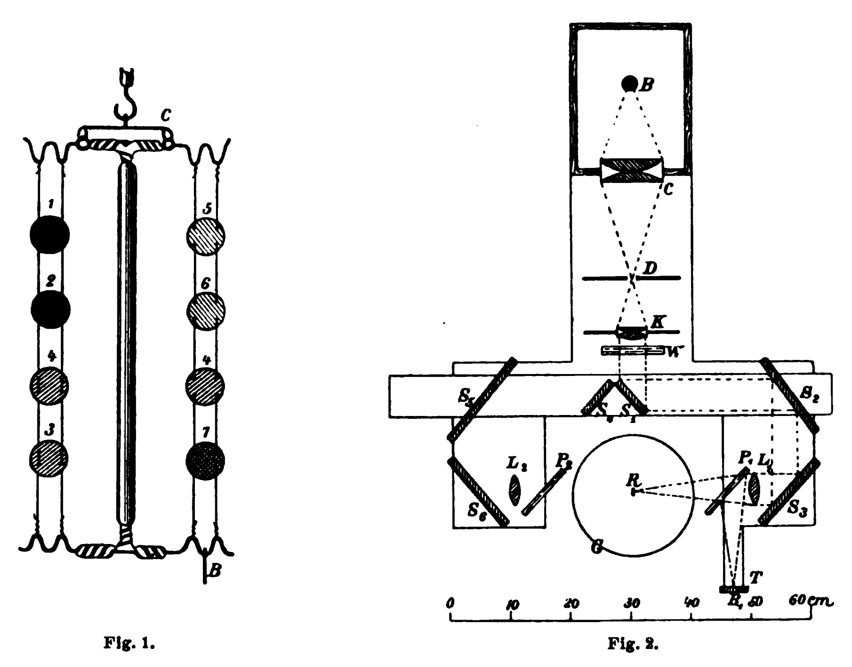


Fig. 1. Fig. 2.

Um die Intensität der Strahlung in absolutem Maasse zu erhalten, wurde der Glasballon mit dem Flügelapparat durch ein Kalorimeter ersetzt, welches aus einem Kupferblock mit geschwärzter Vorderfläche bestand. Vor diese war an dem früheren Orte des Flügels ein Diaphragma von der Grösse des Flügels ($d = 5$ *mm*) gestellt. Das Thermometer war in eine mit Quecksilber gefüllte Bohrung des Kupferklotzes eingesetzt.

Die störenden Einflüsse, an welchen alle früheren Versuche, den Lichtdruck zu messen, scheiterten, sind die radiometrischen Wirkungen und die Konvektion. Die ersteren, welche auf verschiedener Beeinflussung beider (ungleich erwärmter) Flügelseiten durch die Ballonwandung beruhen, wurden auf ein messbares Minimum reduzirt durch Anwendung eines im Vergleich zu den Flügeln grossen Ballons (von 20 *cm* Durchmesser) und sehr dünner Flügelbleche von verschiedener Stärke. Die sehr störende Konvektion der noch im Ballon vorhandenen Gase genügend herabzudrücken, gelang nur durch einen ausserordentlich hohen Grad der Evakuirung (Vermeidung von Kitt u. s. w.) und Herabsetzung der Spannkraft des Quecksilberdampfes durch Kühlung der Quecksilberoberflächen mit Eis und Kochsalz. Der noch übrig bleibende Einfluss der Konvektion, der nur von der Erwärmung und daher nicht von der Richtung der Lichtstrahlen abhängt, wurde eliminirt durch die abwechselnde Bestrahlung des Flügels von beiden Seiten. Die Messungen wurden an Platin-

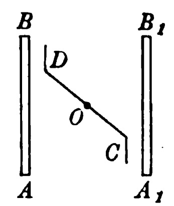
flügeln, theils blanken, theils geschwärzten (platinirten) und auch an solchen aus Aluminium, Nickel und Glimmer ausgeführt. Der durchsichtige Glimmerflügel durfte keine Wirkung zeigen und zeigte sie auch nicht. Die übrigen Flügel, deren Reflexionsvermögen noch gemessen wurde, erfuhren eine Ablenkung (40 bis 90 Skalentheile), die innerhalb der etwa 20% betragenden Beobachtungsfehler mit dem aus der Maxwell'schen Theorie berechneten Werthe übereinstimmt. Hierdurch ist die Existenz des Lichtdruckes experimentell erwiesen.

Dst.

Apparat, um ganz kleine elektrische Ladungen nachzuweisen.

Von R. Blondlot. *Compt. rend.* **133.** *S. 717. 1901; Journ. de phys.* **1.** *S. 5. 1902.*

Will man schwache Ladungen, wie z. B. diejenige einer Messingplatte von 1,3 × 2,8 *cm* Fläche nachweisen, so genügen die gebräuchlichen Elektrometer dafür nicht. Der zu diesem Zweck konstruirte Apparat von Blondlot besteht aus zwei rechteckigen Messingplatten AB und $A_1 B_1$, von 2,4 *cm* Höhe und 2 *cm* Breite. Diese Platten stehen vertikal und einander parallel in einem Abstand von 1,5 *cm* gegenüber; AB ist isolirt, $A_1 B_1$ liegt an Erde. Das zwischen beiden an einem Quarzfaden aufgehängte bewegliche System besteht aus einem rechteckigen Aluminiumblech, das in der durch die Figur dargestellten Weise gebogen ist. Der mittlere Theil der Nadel hat tiefe Ausschnitte, um Trägheitsmoment und Luftwiderstand zu verringern. Die Höhe der Nadel ist etwas kleiner, als die der Platten AB, $A_1 B_1$. Der Abstand der Flügel C und D von den Platten beträgt etwa 2 *mm*. Wird nun AB z. B. eine positive Ladung mitgetheilt, so wird in D eine negative, in C eine positive und in $A_1 B_1$ wiederum eine negative Ladung induzirt. Die Kräfte von AB auf D und $A_1 B_1$ auf C bringen gleichgerichtete Drehmomente hervor, denen nur die Torsion des Quarzfadens als Richtkraft gegenübersteht. Die Drehung ist dem Quadrat der der Platte AB zugeführten Ladung proportional und wird durch Spiegel und Skale gemessen.



Um nun der Platte AB eine gegebene Elektrizitätsmenge mittheilen zu können, ist sie durch einen Draht mit einem innen hohlen Leiter L verbunden. Der Leiter P, auf dem sich die zu messende Elektrizitätsmenge befindet, wird in die Höhlung des Leiters L gelegt, sodass die gesammte Elektrizitätsmenge auf den Leiter L und von dort vermöge der verhältnissmässig grossen Kapazität von AB gegen D auf die Platte AB fliesst.

Um die Empfindlichkeit weiter zu erhöhen, benutzt Blondlot eine Hülfsplatte Q von denselben Abmessungen wie P; Q wird P auf etwa 2 *mm* genähert und zur Erde abgeleitet; die so induzirte Elektrizitätsmenge, die der zu messenden x gleich ist, wird auf die soeben beschriebene Weise der Platte AB zugeführt; wiederholt man dies Verfahren n-mal, so wird der Ausschlag des Elektrometers proportional $n^2 x^2$.

Eine weitere Steigerung der Empfindlichkeit lässt sich dadurch erzielen, dass man die Hülfsplatte Q nicht nur der Induktion durch die Platte P, sondern gleichzeitig der Induktion durch eine weitere grosse Platte, die auf konstantem Potential gehalten wird, aussetzt. Induzirt die letztere Platte die Elektrizitätsmenge E, so ist der Ausschlag des Elektrometers nach n-maligem Wiederholen des Verfahrens proportional $n^2 (E + x)^2$. Wiederholt man nun dieselben n Versuche, nachdem man die Platte P entladen hat, so wird der Ausschlag proportional $n^2 E^2$. Die Differenz der Ausschläge ist somit proportional $2 n^2 E x + n^2 x^2$. Da E beträchtlich grösser als x ist, so hat dieser Ausdruck jedenfalls das Vorzeichen vom $2 n^2 E x$; man kann somit durch diese Methode aus dem Sinn der Differenz auf das Zeichen von x schliessen.

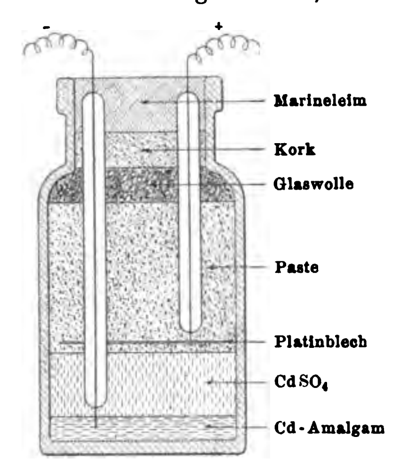
E. O.

Kadmium-Normalelement.

Von H. Tinsley. *The Electrician* **47.** *S. 991. 1901.*

Die Absicht des Verf. war, ein Kadmiumelement zu konstruiren, welches vor Allem einen stärkeren Strom ohne Polarisation vertragen kann, dabei einen relativ geringen inneren Widerstand besitzt und transportfähig ist. Er gelangte dabei zu einer Form, welche allerdings, wie beistehende Figur zeigt, nicht neu ist, sondern schon früher von Kahle für

Clark-Elemente verwendet wurde (*diese Zeitschr.* **13.** *S. 298. 1893*), und die auch für Kadmiumelemente mit geringem Widerstand bereits seit einiger Zeit in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt benutzt wird (vgl. *Wissensch. Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt* **3.** *S. 301. 1900*). Am Boden des Gefässes befindet sich das Kadmiumamalgam, darüber sind Krystalle von Kadmiumsulfat geschichtet, welche ihrerseits mit einer „Paste“ aus Merkurosulfat bedeckt sind. Die Paste wird bekanntlich durch Zusammenreiben des Quecksilbersalzes mit konzentrirter Kadmiumsulfatlösung und festen Krystallen von Kadmiumsulfat sowie eventuell mit Quecksilber erhalten; in dieser Paste befindet sich das als positiver Pol des Elements dienende amalgamirte Platinblech. Die Zuleitung wird bei dem hier beschriebenen Element durch Platindrähte bewirkt, die in Glasröhren eingeschmolzen sind. Dadurch, dass beide Pole eine grössere Ausdehnung besitzen, als es bei den H-Gefässen gewöhnlich der Fall ist, und dass sie auch näher beisammen sind, ist der innere Widerstand dieser Elemente relativ gering; Verf. giebt denselben zu etwa 40 Ohm an. Die elektromotorische Kraft von 6 derartigen vom Verf. hergestellten Elementen liegt zwischen 1,0190 und 1,0192 Volt; leider wird nicht angegeben, auf welche Weise diese Zahlen erhalten sind, ob durch Vergleichung mit anderen Elementen oder mit Hülfe des Silbervoltameters u. s. w. Die in der Mittheilung angegebenen Entladungsversuche an derartigen Elementen mit einer Stromstärke von etwa 1,5 Milliampere scheinen zu zeigen, dass sich die Elemente nach der Stromentnahme rasch wieder erholen und auch nach lange dauerndem Schluss ihre ursprüngliche elektromotorische Kraft innerhalb 4 bis 5 Stunden auf wenige zehntel Millivolt wieder erreichen. Diese Thatsache wird, wie Ref. bemerken möchte, auch durch die Erfahrungen anderer Beobachter bestätigt.



W. J.

Neue Konstruktion eines Mikrotoms mit schiefer Ebene und ununterbrochen wirkender Mikrometerschraube.

Von H. Albrecht. *Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie* **17.** *S. 159. 1901.*

Bei diesem von Reichert in Wien konstruirten Mikrotom wird der Messerschlitten mit der Hand auf einer Bahn horizontal geführt, die aus drei dem Gusseisenkörper angearbeiteten Schienen gebildet wird. Der allseitig justirbare Objekthalter ist grob mittels Zahnstange und Trieb der Höhe nach einstellbar. Die Hebung des Objektes um die jeweilig gewünschte Schnittdicke erfolgt durch Verschiebung des den Objekthalter tragenden Schlittens längs einer gegen die Messerführung um 15° geneigten prismatischen Schlittenführung. Diese Verschiebung erfolgt in bekannter Weise durch Drehung einer Mikrometerschraube, deren Kopf getheilt und mit Zahnung versehen ist. Die Drehung erfolgt durch Vermittelung eines Schalthebels, der zwischen zwei Anschlägen beweglich ist. Von letzteren ist der eine verstellbar und seine Stellung bestimmt die Grösse des Winkels, um welchen die Schraube bei der jedesmaligen Bewegung des Schalthebels gedreht wird. Bei voller Ausnutzung der Gewindelänge kann so der Objektschlitten ununterbrochen um 25 *mm* verschoben werden, wobei eine Hebung des Objektes um rund 6,5 *mm* eintritt. Um ein Zurückdrehen der Schraube in ihrer Mutter entbehrlich zu machen, bevor eine weitere Verschiebung des Objektschlittens erfolgen kann, wird auch hier von einer bereits in *dieser Zeitschr.* **9.** *S. 479. 1889* erwähnten Einrichtung Gebrauch gemacht, welche von A. Becker in Göttingen herrührt. Dieselbe ist in den *Verhandl. d. Deutschen zoolog. Gesellsch. 1892. S. 152* beschrieben und in der Denkschrift „Die mechanischen Werkstätten der Stadt Göttingen“ *S. 61* abgebildet und beschrieben. Danach ist ihre Anordnung und Handhabung die folgende.

Die Spindel der Mikrometerschraube setzt sich jenseits des gezahnten Kopfes in einem glatten zylindrischen Zapfen von der Länge des Gewindes fort. Dieser Zapfen und das

Mikrometergewinde ist in einem Bügel gelagert, der um 180° derart gedreht werden kann, dass dabei die Schraubenachse in einer und derselben Ebene verbleibt, aber die entgegengesetzte Richtung einnimmt. Ist der ebenfalls auf zur Schnittebene geneigter Bahn bewegte Objektschlitten mittels der Schraube bis zur Grenze ihres Wirkungsbereiches, im Ganzen um 50 *mm*, verschoben, so wird der Lagerbügel um 180° gedreht. Nachdem alsdann ein im Objektschlitten parallel seiner Bewegungsrichtung verschieblicher und in ihm mittels einer Klemmschraube feststellbarer Stab bis zur Berührung seiner Endfläche mit dem ihm nun gegenüberstehenden Ende der Schraubenspindel vorgeschoben und wieder geklemmt worden ist, kann durch weitere Drehung der Schraube der Objektschlitten, welcher während dieser Zwischenoperation an seinem Platze verblieben war, weiter verschoben werden.

Bei dem in Rede stehenden Mikrotom muss nach Drehung des Schraubenlagers um 180° der Objektschlitten bis zur Berührung mit dem ihm nunmehr gegenüberstehenden Ende der Schraubenspindel zurückgeschoben und das Objekt mittels des der groben Höheneinstellung dienenden Zahnstangengetriebes um den dieser Schlittenverschiebung entsprechenden Betrag gehoben werden, bevor man die Schraube weiter zur Feinstellung benutzen kann. Von einer ununterbrochenen Wirkung der Mikrometerschraube kann hiernach nicht wohl gesprochen werden, da das Zahnstangengetriebe allein nur eine angenäherte Einstellung in die richtige Höhe zulässt. Für die Instrumentenkunde im historischen Sinne nicht unwesentlich erscheint die Feststellung, dass sowohl die Höhenverschiebung des Objektes auf geneigter Bahn, als auch die besondere Anordnung der Mikrometerschraube und ihrer Lagerung von der Firma A. Becker in Göttingen erdacht wurde. *P.*

Durch Druckdifferenz wirkendes Log.

Von E. Raverot und P. Belly. *Compt. rend.* ***133.*** *S. 811. 1901.*

Dieses in Deutschland bereits 1896 unter Nr. 87513 patentirte Log (Patentinhaber A. Weickmann in München) wirkt in derselben Weise, wie der Fahrtmesser von Strangmeyer aus dem Jahre 1880, nämlich dadurch, dass der bei der Fahrt des Schiffes durch den Wasserwiderstand erzeugte Druck durch ein Manometer gemessen wird. Während bei dem alten Apparat die Uebertragung des Drucks durch Luft geschah, wird von Raverot und Belly eine Flüssigkeit, die spezifisch schwerer als Meerwasser ist, dazu verwendet. In Folge dessen muss das Manometer unter der Wasserlinie angeordnet werden, was einen grossen Nachtheil gegenüber dem alten Instrument bedeutet, welches die Fahrt des Schiffes an beliebigen Stellen, z. B. auf der Brücke und im Maschinenraum, anzeigte. Diejenigen Nachtheile, die eine allgemeine Einführung des Strangmeyer'schen Apparats verhindert haben, hat das Log von Raverot und Belly mit diesem gemein. *Ks.*

Lattenreiter.

Von Landmesser Schulze. *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 549. 1901.*

Der Verf. hat die Werkzeuge, an denen man die Reduktionen einer schiefliegenden Messlatte von bestimmter Länge auf die Horizontale ablesen kann (statt des Neigungswinkels an den ältern Gradbögen), um eines (D.R.P. Nr. 124570) vermehrt, nämlich eine besonders eingerichtete Libelle, der er den Namen Lattenreiter gegeben hat. Die Skale an der Glasoberfläche zeigt durch Ablesung an der Mitte der Blase sogleich den Abzug an der Lattenlänge von 5,000 *m* an, die dem Unterschied $5000\,(1 - \cos\alpha) = 10000 \cdot \sin^2(\alpha/_2)$ *mm* entspricht.

Der Ausschleifungs- oder Biegungslinie der Libelle Kreisform zu geben wie bei den gewöhnlichen Libellen geht hier nicht an, weil man eben nur durch Schätzung in der *Mitte* der Blase ablesen kann und diese Ablesung bei ungleichförmiger Theilung auf der Oberfläche des Libellenglases unrichtig ausfiele. Es handelt sich darum, der Innenlinie der Libelle eine Form zu geben, bei der für die verschiedenen Neigungswinkel α eine gleichförmig fortschreitende Skale entsteht. Der Verfasser löst die Aufgabe durch die Gleichungen

$$dx = C\sqrt{\frac{\sin^2\alpha}{1+\mathrm{tg}^2\alpha}}\cdot d\alpha, \qquad dy = C\sqrt{\frac{\sin^2\alpha}{1+\mathrm{ctg}^2\alpha}}\cdot d\alpha$$

oder

$$x = -\tfrac{1}{2}C\cos^2\alpha + K, \qquad y = \frac{C}{2}\left(\alpha - \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha\right) + K$$

für die gesuchte Innenlinie.

Ob die genügende Herstellung einer solchen Libelle, deren Krümmung anfangs (für kleine Höhenwinkel) sehr stark, dann aber für wachsende Höhenwinkel rasch stetig flacher werden muss, möglich ist, schien angesichts der Schwierigkeiten, die sich schon gutem kreisförmigen Libellenschliff entgegenstellen, zweifelhaft. Doch soll jetzt ein Weg gefunden sein, der sich zur Herstellung dieser Libelle im Grossen (das Instrumentchen darf nicht theuer werden) eignet. Wenn in der Skale *kleine* Unregelmässigkeiten nicht zu vermeiden sein sollten, so hätte dies nicht viel zu sagen, da trotzdem die Mitte der Libellenblase genügend richtige Ablesung geben kann; die abgelesene Reduktion braucht nur auf 1 bis $^1/_2$ *mm* genau zu sein. Für die Ablesung günstig wäre sehr *kurze* Libellenblase (z. B. bei der Temperatur 15° C.), doch leidet bei gar zu kurzer Blase bekanntlich die Genauigkeit der Angabe selbst bei gröbern Libellen.

Die bisher angefertigten Exemplare des Lattenreiters sind alle für 5 *m*-Latten bestimmt und zeigen Reduktionen bis 150 *mm* an, einer Neigung von bis 14° entsprechend. Eine Erweiterung dieser Grenze, von der der Verf. *a. a. O. S. 551 u. 552* spricht, ist jedenfalls nicht nöthig; die Ausdehnung bis zur Reduktionsgrenze von 50 *cm* (etwa 28°) würde sicher zu weit gehen. Der Ref. ist geneigt, schon von 15° an das Staffeln für mindestens ebenso sicher zu halten wie die Ablesung der Reduktion an irgend einem Gradbogen oder Reduktor, während für genauere Messung etwa bis zu der angegebenen Grenze diese Werkzeuge entschieden den Vorzug vor der gewöhnlichen Staffelmethode verdienen.

Der Verf. giebt die Zahlen einiger Versuchsmessungen ausführlich an, an denen besonders die *Geschwindigkeit* der Messung mit dem Lattenreiter bemerkenswerth ist. Als m. F. einer Messung der Strecke von 100 *m* (im Gelände II *durchschnittlich*) findet der Verf. den Betrag von ± 17 *mm*.

Dass mit diesem neuen Werkzeug etwas Lebensfähiges geschaffen ist, ist sicher; das handliche Instrumentchen, das in der Tasche mitgeführt werden kann, hat vor den ältern Gradbögen u. s. f. vor Allem diese Bequemlichkeit des Transports voraus. Sie ist freilich erkauft mit der sehr kleinen Entfernung der Aufsetzpunkte, die nach der Figur *S. 550* und an dem vor mir liegenden Versuchsinstrument (mit vorläufig noch viel zu grossen Unregelmässigkeiten der Skale) nur etwa 15 *cm* beträgt, sodass eine ungewöhnlich gut *gerade* Latte erforderlich wäre, wenn bei einigermaassen beträchtlichen Neigungswinkeln die Ablesung genau genug ausfallen sollte (an den älteren Pendel- und Libellen-Gradbögen und Reduktoren ist z. B. bei dem Gonser'schen Gradbogen, vgl. *Zeitschr. f. Vermess.* **22.** *S. 242. 1893*, die Strecke zwischen den Aufsetzpunkten etwa 50 *cm*, bei dem Krayl'schen Lattenreduktor, vgl. Hammer, *Zeitschr. f. Vermess.* **25.** *S. 665. 1896.* noch wesentlich grösser, etwa $1^1/_2$ *m*; ich halte das Krayl'sche Instrument für das beste der bis jetzt vorhandenen). Es liesse sich dies ja durch Verlängerungen an den Füssen der einfachen Holzfassung der Libelle ändern, doch wäre damit der oben genannte Vortheil wieder z. Th. preisgegeben. Ferner ist bei dem neuen Instrumentchen unbequem, dass man es nothwendig *in situ*, aufgesetzt auf die auf dem Boden liegende Latte, ablesen muss, während die ältern Gradbögen mit schwerem Pendel zur Ablesung von der Latte emporgehoben werden können, ohne dass sich das Pendel verschiebt, und Krayl ohnehin die Ableseskale in bequeme Höhe herauf gerückt hat (vgl. dazu auch Hammer in *Mitthlg. d. Württemb. Geometer-Vereins 1894*). Auch hierfür liesse sich übrigens Rath schaffen.

Jedenfalls ist die Idee des neuen Werkzeugs willkommen und zu wünschen, dass es bald in genügender Ausführung im Handel werde erscheinen können.

Hammer.

Neigungsmesser von Röther.

*Zeitschr. f. Vermess. **29.** S. 537. 1900.*

Dieses Instrument zur weniger feinen Höhenwinkel- oder Neigungsmessung hat folgende Einrichtung. An einem vertikal zu haltenden Träger befindet sich unten, senkrecht zu ihm angebracht, eine Skale, oben, unter 45° gegen den Träger geneigt, ein Spiegel mit horizontaler Strichmarke und unmittelbar unter dem Spiegel eine justirbare Libelle. Um die Neigung der Ziellinie nach einem Punkt zu bestimmen, hat man gleichzeitig diesen Zielpunkt, die Theilung im Spiegel und die Libelle ins Auge zu fassen. Das ganze Instrumentchen sitzt auf einem durch eine Strebe gestützten Stab, durch dessen Vor- und Zurückneigen man die Libellenblase in die Mitte bringen kann; abzulesen ist dann der am Spiegelstrich erscheinende Theilungsstrich. Es sind übrigens zwei Theilungen vorhanden, eine für Höhenwinkel oder Prozente der Neigung und eine zur Ablesung der Reduktion eines schiefliegenden 20 *m* langen Messbands oder einer 5 *m*-Latte auf die Horizontale.

Nach dem Verf. entspricht die leicht zu erreichende Genauigkeit der Ablesung einer Genauigkeit der Neigungsmessung von 0,1 %. Etwas schwierig ist mir nur beim Gebrauch des Instruments das gleichzeitige *deutliche* Sehen von Strichmarke, Theilung und Zielpunkt erschienen. Immerhin ist das Instrumentchen recht einfach, billig und kompendiös (neuerdings auf den Raum von $8 \times 8 \times 2^1/_2$ *cm* gebracht); der Preis beträgt jetzt 12 M., es wird von der Firma Falter & Sohn in München hergestellt. Als Latten- oder Bandreduktor wird es jedenfalls seinen Weg machen können. *Hammer.*

Neu erschienene Bücher.

W. G. Bligh, *Notes on instruments best suited for engineering field work in India and the Colonies.* gr. 8°. 218 S. London, Spon 1899. Geb. 10 M.

Werke, die dem Titel des hier angezeigten in Wirklichkeit gerecht würden und von Männern mit langer eigner tropischer oder überseeischer geodätischer Praxis verfasst wären, könnten viel Nutzen bringen und besonders auch den Verfertigern geodätischer Instrumente, die zum Export bestimmt sind, werthvolle Winke geben.

Der Verf. des vorliegenden Buchs spricht im Ganzen etwas viel von allgemein bekannten Dingen, wenigstens bei seinen Landsleuten allgemein bekannten Dingen, und legt kleinen Abänderungen an den Instrumenten, die keine besondere Bedeutung beanspruchen dürfen, zu viel Gewicht bei. Dass „Erfindungen" an geodätischen Instrumenten lange Zeit völlig stillgestanden haben, wie der Verf. *S. 3* angiebt, ist selbst für England kaum zuzugeben.

Für alles, was sich auf Eisenbahnvorarbeiten in tropischen Wäldern bezieht, stützt sich der Verf. auf Shelford's bekannte Arbeit darüber (*Minutes of Proc. Instit. Civil Engineers **133***).

Für viele deutsche Leser werden neu sein die ausserordentlich verschiedenen Formen der Bussole, *S. 6 bis 36*, der *Rapid Traverser* von Henderson, *S. 36 bis 42*; unter den Klinometern, *S. 48 bis 70*, ist Manches, was auch ausserhalb Englands bekannt werden dürfte. Die Nivellirinstrumente zeigen nur die bekannten englischen Formen; bei den Barographen ist neben dem bekannten Richard'schen Instrument der Entwurf eines neuen registrirenden Aneroids angegeben, *S. 113 bis 115*, das gewisse Vorzüge haben kann. Das Instrument, voraussichtlich von Hicks in London hergestellt, ist noch nicht zu haben. Die Tachymetrie folgt in der Darstellung dem bekannten Werk von Brough; die abgebildeten Tachymeter-Theodolite haben die gewohnten englisch-amerikanischen Modelle. Die Notiz über die Messungsmethoden von Shelford ist bereits oben angedeutet.

Der Anhang enthält eine *„Traverse Table"* (von 2′ zu 2′ des Richtungswinkels bis 45°, 4-stellig, nur für die Entfernung 1, also einfach eine Tabelle der natürlichen sin und cos); eine Sehnentafel (ebenso von 2′ zu 2′ bis 90°, 4-stellig, zum Auftragen von in Gradmaass gegebenen Winkeln); eine Tachymetertafel (von 2′ zu 2′ des Höhenwinkels bis 28°, nach

dem Höhenwinkel geordnet und nur für die Grundzahl 100, sodass die Tafel nur 7 S. einnimmt, aber auch nicht besonders leistungsfähig ist; immerhin liefert nach Ablesung der Zahlen für Horizontaldistanz und Höhenunterschied *eine* Einstellung am gewöhnlichen Rechenschieber und Ablesung an zwei Stellen die gewünschten Stücke. Z. B. giebt $D = 132$, $\alpha = +3^0\,57'$ zunächst bei dem abgelesenen Höhenwinkel die Entfernungs- und Höhenfaktoren 99,52 und 6,87, also auf dem angedeuteten Weg nach Einstellung der Zungen-1 auf 132 die Ablesungen 131½ für die Horizontaldistanz und 9,1 für den Höhenunterschied. Die Ablesung in dieser Art ist ja nicht unbequem, aber wir haben doch wesentlich bequemere Hülfsmittel. Die zwei letzten Tafeln sind Gefälltafeln. Zwei weitere Notizen am Schluss geben eine Beschreibung des *Gradient-Telemeter-Level* (mit Abänderungen des Verf.) und Notizen über die Berichtigung der in dem Buch beschriebenen, dem Verf. eigenthümlichen neuen Instrumente: *„Planter's Road Tracer“* (ein Gefällmesser, der vor andern bekannten Instrumenten dieser Art sicher keine Vorzüge hat), ein *„Contour Level and Clinometer“* (Nivellirinstrument mit Fernrohr oder Diopter, das zur Messung von Höhenwinkeln oder zur Absteckung von Linien mit gegebenem Gefälle mit einem Höhenbogen ausgestattet ist), ein *„prismatic Dial and Clinometer“* (mit Diioptern sowohl für Horizontal- als Höhenzielung ausgestattete Bussole, die mit Höhenbogen versehen ist). *Hammer.*

W. Jaeger, Die Normalelemente und ihre Anwendung in der elektrischen Messtechnik. gr. 8°. VIII, 131 S. m. Fig. Halle, W. Knapp 1902. 6,00 M.

Nachdem sich neben den geaichten Widerständen für die genaue Messung elektrischer Grössen die Spannungsnormale als hervorragend geeignet erwiesen haben und deren genaue Reproduzirbarkeit durch neue Arbeiten, vornehmlich auch der Reichsanstalt und des Verfassers dieses Buches, ausser Zweifel steht, so bietet eine authentische Behandlung der Normalelemente ein besonderes Interesse. Dies gilt sowohl für die ausgezeichnet durchgebildete Theorie der Elemente wie für ihre praktische Konstruktion, die beide anscheinend zu einem erfreulichen Grad der Vollendung gediehen sind. Das Gleiche darf man auch überall der Darstellung des Verfassers nachrühmen. Der Stoff ist in folgende vier Abschnitte eingetheilt: Definition und Eintheilung der Normalelemente; Theorie der Normalelemente; spezieller Theil: Besprechung der einzelnen Elemente; Aichung und Anwendung der Normalelemente. Im letztgenannten Theil wird eine Behandlung der Kompensationsapparate vielfach willkommen sein. Ein Anhang bringt Tabellen, Literaturverzeichniss und ein sehr vollständiges doppeltes Register. Das mit Liebe, beherrschender Sachkenntniss und musterhafter Gründlichkeit geschriebene Buch wird zweifellos bei allen Interessenten freudigst aufgenommen werden. *R. Abegg.*

S. P. Thompson, Mehrphasige elektrische Ströme u. Wechselstrommotoren. 2. Aufl. Uebers. v. K. Strecker u. V. Vesper. Mit zahlreichen in den Text gedr. Abbildgn. u. 15 Taf. In etwa 10 Hftn. 1. Hft. gr. 8°. S. 1—48 m. 2 Taf. Halle, W. Knapp 1901. 2,00 M.

C. Winkler, Lehrb. der techn. Gasanalyse. Kurzgefasste Anleitg. zur Handhabg. gasanalyt. Methoden v. bewährter Brauchbarkeit. 3. Aufl. gr. 8°. XII, 224 S. m. Abbildg. Leipzig, A. Felix 1901. 8,00 M.

M. Chassagny, *Cours élémentaire de Physique. Avec une préface par P. Appell.* 8°. IV, 1000 S. m. 1 farb. Taf. u. 793 Fig. Paris 1901. 6,50 M.

W. J. Dobbs, *Treatise on elementary Statics.* 8°. Mit 191 Illustr. London 1901. Geb. in Leinw. 7,80 M.

S. M. Pernter, Meteorologische Optik. 1. Abschn. gr. 8°. VIII, 54 S. m. Fig. Wien, W. Braumüller 1902. 1,80 M.

J. H. van 't Hoff, Vorlesgn. üb. theoret. u. physikal. Chemie. 1. Hft. Die chemische Dynamik. 2. Aufl. gr. 8°. XI, 251 S. m. Abbildgn. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn. 1901. 6,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **März 1902.** Drittes Heft.

Ueber neuere Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfür bestimmten Stereo-Komparator[1]).

Von

Dr. **C. Pulfrich** in Jena.

(Mittheilung aus der optischen Werkstaette von Carl Zeiss.)

In den letzten acht Jahren hat sich die Firma C. Zeiss in Jena in hohem Maasse die Herstellung und die Vervollkommnung von Apparaten angelegen sein lassen, welche eine Erweiterung der dem Sehen mit unbewaffneten Augen gesteckten Grenzen der stereoskopischen Wahrnehmung ermöglichen, und welche den Zweck verfolgen, den spezifischen Vorzug des stereoskopischen Sehens: *unmittelbares Erfassen der Raumvertheilung der uns umgebenden Dinge der Aussenwelt*, mehr oder weniger auch für solche Entfernungen nutzbar zu machen, für welche die Fähigkeit des unbewaffneten Augenpaares, stereoskopisch zu sehen, nicht mehr ausreicht. Ich denke hierbei nicht nur an die in weiteren Kreisen bekannt gewordenen *Doppelfernrohre mit erweitertem Objektivabstand*, durch welche bekanntlich das Helmholtz'sche *Telestereoskop* seine höchste Vervollkommnung und Verwerthung gefunden hat[2]), und an die für die stereoskopische Betrachtung kleiner und naher Objekte konstruirten sog. *binokularen Mikroskope*[3]); ich denke ganz besonders auch an den nach der Idee von de Grousilliers konstruirten *stereoskopischen Entfernungsmesser*, über den ich vor zwei Jahren auf der Naturforscher-Versammlung in München Mittheilung gemacht habe[4]). Im Wesentlichen beruht dieser Apparat auf der Anwendung eines Doppelfernrohres mit erweitertem Objektivabstand, in dessen Bildfeldebenen künstliche Marken eingesetzt sind, die beim Einblick in das Doppelfernrohr als *virtuelle, in den wahren Raum hinausprojizirte* (entweder feststehende und bezifferte oder mikrometrisch in die Tiefe bewegbare) *Raumbilder* erscheinen, mit deren Hülfe dann sowohl die Entfernungen als auch die Dimensionen (Breite und Höhe) von entfernten Objekten unmittelbar sich ermitteln lassen.

---

[1]) Vorgetragen auf der Naturforscher-Versammlung in Hamburg am 23. September 1901.

[2]) Man vergleiche die bezüglichen Kataloge der Firma Zeiss und den Aufsatz von Dr. Czapski, Ueber neue Arten von Fernrohren für den Handgebrauch. Berlin 1895.

[3]) Man vergleiche dieserhalb L. Drüner und H. Braus, Das binokulare Präparir- und Horizontalmikroskop. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* **14.** *S. 5. 1897*; S. Czapski und W. Gebhardt, Das stereoskopische Mikroskop nach Greenough und seine Nebenapparate. *Ebenda* **14.** *S. 289. 1897*; Referat in *dieser Zeitschr.* **18.** *S. 256. 1898*; ferner S. Czapski, Binokulares Cornealmikroskop, *v. Gräfe's Archiv f. Ophthalmologie* **48,** *I. S. 229. 1899*; ferner die Kataloge der Firma Zeiss.

[4]) *Phys. Zeitschr.* **1.** *S. 98. 1899*; Abdrücke dieses Vortrages in deutscher, französischer und englischer Ausgabe können von Seiten der Firma Carl Zeiss kostenlos bezogen werden, desgleichen ein Stereoskopbild mit Messskale zur Veranschaulichung der Wirkungsweise des stereoskopischen Entfernungsmessers.

Als ein weiteres Glied in der Reihe dieser Apparate ist der im Folgenden näher beschriebene *Stereo-Komparator*[1]) zu betrachten. Derselbe dient zum Theil den gleichen Zwecken (siehe den Abschnitt I) wie der stereoskopische Entfernungsmesser, unterscheidet sich von ihm aber wesentlich dadurch, dass die stereoskopische Beobachtung und die Messung nicht an der lebendigen Landschaft, sondern an photographischen Aufnahmen vorgenommen werden und dass dementsprechend hierfür nicht ein Doppelfernrohr, sondern ein den Dimensionen und dem Abstand der beiden photographischen Platten angepasstes *binokulares Mikroskop* zur Anwendung gelangt.

Der Gedanke, dass sich das dem stereoskopischen Entfernungsmesser zu Grunde liegende Beobachtungs- und Messverfahren auch für andere, in Sonderheit für astronomische Aufgaben (Bestimmung von Fixsternparallaxen) müsse nutzbringend verwenden lassen, hat mir schon vor Jahren bei Gelegenheit der ersten Versuchsarbeiten für den stereoskopischen Entfernungsmesser vorgeschwebt. Doch bin ich der Verwirklichung der Idee erst im Frühjahr 1900 näher getreten. Der Lösung der Aufgabe sind grundsätzlich und praktisch keinerlei ernstliche Schwierigkeiten entgegengetreten, weil alle bei der Konstruktion des Entfernungsmessers gewonnenen Erfahrungen hier ihre unmittelbare Verwerthung gefunden haben. Ohne die Vorgängerschaft des stereoskopischen Entfernungsmessers wäre das vielleicht anders gewesen.

Ich gebe im Folgenden zunächst eine Uebersicht über die Anwendbarkeit und die Vortheile des Stereo-Komparators, einen Rückblick auf frühere Versuche und die Beschreibung des Apparates, seiner Theorie und Handhabung. Ehe ich dann aber auf die einzelnen Anwendungsgebiete und auf die bis jetzt mit dem Stereo-Komparator erhaltenen Resultate näher eingehe, halte ich es angesichts der vielseitigen Anwendbarkeit des Stereo-Komparators für angebracht, vorerst Einiges über die Grundlagen der Stereoskopie und die Eigenschaften des stereoskopischen Feldes im natürlichen und im künstlich erweiterten stereoskopischen Sehen zu sagen. Endlich gebe ich zum Schluss den Versuch zu einem Ausblick in die Erkennung der räumlichen Vertheilung der Fixsterne.

I. Zweck und Vortheile des Stereo-Komparators.

Der Stereo-Komparator bildet die sinngemässe Ergänzung des stereoskopischen Entfernungsmessers. Bei diesem lässt sich der Abstand der Objektive, von dem die Ausdehnung des stereoskopisch wahrgenommenen Raumes und das Tiefenunterscheidungsvermögen innerhalb dieses Raumes in erster Linie abhängen, aus leicht begreiflichen Gründen nicht über ein gewisses Maass vergrössern. Das grösste von der Firma Zeiss angefertigte Doppelfernrohr hat einen Objektivabstand von 2 *m*, der grösste stereoskopische Entfernungsmesser einen solchen von $1^1/_2$ *m*. Die in diesem Apparat angebrachte Messskale reicht aber nur bis 8 bezw. 10 *km*. Um Objekte von *grösserer* Entfernung, beispielsweise *Sternschnuppen* und *Nordlichter* mit Erfolg stereoskopisch messen zu können, ist schon eine wesentlich grössere Basis als $1^1/_2$ *m*, etwa eine solche von 10 bis 20 *m* oder noch mehr erforderlich. Die Anforderungen an die Grösse der Standlinie wachsen gleich ins Ungeheuere, sobald es sich darum handelt,

[1]) Des *Stereo-Komparators* habe ich bereits in dem in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 249. 1901* veröffentlichten Aufsatz „Ueber eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen" (als Separatabdruck mit Tafel zu beziehen durch die Firma Zeiss in Jena) kurz Erwähnung gethan. Ich verweise besonders auf die in dieser Tafel enthaltenen Stereoskopbilder 2 und 4, durch welche die Verwendbarkeit des stereoskopischen Beobachtungsverfahrens für die Zwecke der Vergleichung von Sternaufnahmen und von Maassstäben unmittelbar zur Anschauung gebracht ist.

das stereoskopische Beobachtungsverfahren auf die *Objekte des Weltenraumes*, Planeten und Fixsterne, auszudehnen. Um nur die uns relativ nahen Körper unseres Sonnensystems stereoskopisch von den dahinter liegenden Fixsternen losgelöst zu sehen, reicht unsere Erdoberfläche gerade noch für die Beschaffung einer genügend langen Standlinie aus. Diese Strecken versagen aber gänzlich, wenn man auch die Raumvertheilung der Fixsterne stereoskopisch wahrnehmbar machen will. Hier sind schon *viele Millionen Kilometer* als Basis erforderlich, wie sie uns nur in den *Wegen* zu Gebote stehen, welche die Erde in Folge ihrer *Bewegung um die Sonne* und in Folge der *Fortbewegung des ganzen Sonnensystems* im Weltenraume zurücklegt, wobei noch als besonders erschwerend für die Deutung des stereoskopisch Wahrgenommenen der Umstand in Anrechnung zu bringen ist, dass die an den Endpunkten einer solchen Standlinie gemachten Beobachtungen *niemals gleichzeitig* erfolgen können.

In allen diesen Fällen sind wir daher auf das photographische Verfahren angewiesen und es kann sich nur darum handeln, die entweder gleichzeitig oder in mehr oder weniger langen Zeiträumen nach einander gewonnenen photographischen Aufnahmen neben einander zu legen und sie im Stereo-Komparator zu betrachten. Aber auch innerhalb des Messungsbereichs der verschiedenen Modelle des stereoskopischen Entfernungsmessers[1]) ist es oft — in Sonderheit für *topographische und photogrammetrische* Zwecke — wünschenswerth, an Stelle der unmittelbaren Ausmessung der Landschaft das photographische Verfahren in Anwendung zu bringen, wobei die Objektivbrennweite (Vergrösserung) und der Objektivabstand (Plastik) der besonderen Beschaffenheit und der Entfernung des zu untersuchenden Objektes angepasst sind, und dann die Ausmessung des aufgenommenen Landschafts- oder Wolkenbildes mit dem Stereo-Komparator der *Laboratoriumsarbeit* zu überweisen.

Die Anwendbarkeit des Stereo-Komparators bleibt nun aber nicht ausschliesslich auf Aufgaben beschränkt, bei denen es sich, wie bei den vorgenannten, um das Erkennen und Messen der thatsächlich vorhandenen Raumvertheilung irdischer oder himmlischer Gegenstände und um Raummessungen an diesen handelt. *Die andere, jedenfalls nicht weniger wichtige Seite der Anwendbarkeit des Apparates* erstreckt sich ganz allgemein auf alle diejenigen Aufgaben, für welche das Stereoskop schon von Dove's Zeiten her in Vorschlag und zum Theil auch in Anwendung gekommen ist und bei denen es sich darum handelt, zwei gleiche Objekte oder zwei gleiche Bilder, *über deren vollkommene Identität* Zweifel bestehen, mit einander zu *vergleichen.* Von den bekannteren älteren Aufgaben dieser Art verweise ich auf die Prüfung von Kassenscheinen und Münzen zum Zweck der Feststellung von Fälschungen, auf die Unterscheidung von Nachdruck und Originaldruck; von den neueren Aufgaben der gleichen Art auf die *Prüfung von Maassstäben* zur Erkennung von Theilungsfehlern und besonders auf den *Vergleich photographischer Landschafts- und Sternaufnahmen zum Zwecke der Unterscheidung der thatsächlich vorhandenen Objekte von zufälligen Störungen, wie Plattenfehler u. dgl., und zum Zwecke der Erkennung von Veränderungen jeder Art.*

Unter diese beiden Hauptgruppen lassen sich die sämmtlichen Aufgaben, zu denen der Stereo-Komparator *als solcher* mit Vortheil benutzt werden kann, unterordnen. Auf die einzelnen Aufgaben werde ich im Folgenden noch wiederholt Gelegenheit haben näher einzugehen, aber ich will schon gleich vorab bemerken, dass mit den in diesem Aufsatz zur Sprache gebrachten Aufgaben die Anwendbarkeit des Stereo-Komparators keineswegs erschöpft ist; ich bin vielmehr der Meinung, dass sich

[1]) Siehe die bezüglichen Prospekte der Firma Zeiss.

die Grenzen der Anwendbarkeit des stereoskopischen Beobachtungs- und des stereoskopischen Messverfahrens zur Zeit noch gar nicht absehen lassen.

Die spezifischen Vorzüge des Stereo-Komparators sind im Wesentlichen die gleichen, wie die des stereoskopischen Entfernungsmessers. Sie kommen sogar hier, weil die stereoskopische Betrachtung an den auf der Platte fixirten Bildern stattfindet und daher in aller Ruhe vorgenommen werden kann, noch etwas mehr zur Geltung als im Entfernungsmesser der lebendigen Landschaft gegenüber. Ich will diese Vorzüge jetzt näher präzisiren.

In erster Reihe kommt in Anrechnung der Vortheil, welcher in der durch das Sehen mit beiden Augen gewonnenen *unmittelbaren Vorstellung der Raumvertheilung entfernter Gegenstände begründet ist.* Die telestereoskopische Betrachtung entfernter Gegenstände, z. B. einer alpinen Landschaft, oder der gewölbten Meeresoberfläche, oder der Wolken am Himmel, oder der Körper ausserhalb unseres Planeten[1]) ist nicht allein die *Quelle eines ausserordentlich grossen Genusses*, sondern auch von einer ganz hervorragenden *praktischen* und *didaktischen Bedeutung.* Dank der Liebenswürdigkeit des Hrn. Oberst Freiherrn von Hübl, vom Militär-Geographischen Institut in Wien, welcher sich für die Verwendung des Stereo-Komparators für seine photogrammetrischen Arbeiten vom ersten Augenblick an lebhaft interessirt und der Firma Zeiss zum Zwecke der Erprobung des Apparates mehrere prachtvolle photogrammetrische Aufnahmen aus den Steiner-Alpen mit der Ojstrica-Spitze zur Verfügung gestellt hat, hatte ich vor Kurzem Gelegenheit, einen telestereoskopischen Einblick (Basis 45 *m*) in ein Felsengebirge zu thun, der das Schönste bedeutet, was ich je in der Hinsicht gesehen habe. Es wäre ganz verfehlt, wenn ich sagen wollte, dass die gewaltigen Gebirgsmassen, die sich da in ihren reich gegliederten Formationen vor den Augen des Beobachters aufthun, einen besonders gigantischen Eindruck hervorrufen. Im Gegentheil, man glaubt das ganze Gebirge in stark verkleinertem Maassstab wie ein Modell vor sich liegen zu sehen, aber wie ein in allen Einzelheiten sorgfältig ausgearbeitetes plastisches Kunstwerk von höchster Vollkommenheit[2]), in dem man nach Belieben, wie auf einer Gebirgstour, sich umschauen kann und welches sofort als Vorlage für ein wirkliches Modell oder für einen Plan benutzt werden kann.

Um in dieser Hinsicht den weitestgehenden Ansprüchen zu genügen, ist der Stereo-Komparator ausser mit dem für die Ausmessung der drei Raumkoordinaten (Entfernung, Breite und Höhe) der einzelnen Objekte bestimmten *binokularen Mikroskop*, dessen Gesichtsfeld nur wenige Millimeter umfasst, noch mit einem nach Art des Helmholtz'schen Telestereoskopes konstruirten *Spiegel-Stereoskop* ausgerüstet, welches, an die Stelle des Mikroskop-Stereoskops gebracht, die stereoskopische Betrachtung der beiden Aufnahmen in ihrer ganzen Ausdehnung mit einem Blick ermöglicht.

Der zweite Hauptvortheil, welcher das stereoskopische Verfahren vor anderen Methoden auszeichnet, besteht in der *ganz ausserordentlichen Reduktion des bisher für die Ausmessung und den Vergleich der Objekte gemachten Aufwandes an Zeit und Arbeit.* Diesen Vortheil behauptet die stereoskopische Methode in erster Linie den auf die Ausmessung jeder einzelnen Platte hinauslaufenden Methoden gegenüber. Nicht allein

[1]) Man vergleiche das von mir nach Sternaufnahmen des Hrn. Prof. Wolf in Heidelberg zusammengestellte, in dem Aufsatz über die Prüfungstafel, *diese Zeitschr.* **21.** *S. 249. 1901*, erwähnte *Stereoskopbild des Saturn*, welches im September 1900 auf der Astronomenversammlung in Heidelberg in einem Stereoskop vorgezeigt wurde und jetzt durch die Firma Zeiss bezogen werden kann.

[2]) Auf 2000 *m* Entfernung z. B. sind bei den Platten mit Hülfe des Mikroskop-Stereoskops Tiefenunterschiede im Betrage von $1\frac{1}{2}$ *m* als solche noch deutlich erkennbar.

kommt die ganze mühsame Arbeit des Ausmessens in Wegfall, auch das Beobachtungsprotokoll wird auf ein Minimum reduzirt. Aber auch im Vergleich zu den sog. Differenzmethoden ist die stereoskopische Methode im Vortheil. Denn diese ist auch eine Differenzmethode, aber eine wesentlich andere, vollkommenere als alle übrigen. Man könnte z. B. bei dem Vergleich von Sternaufnahmen so verfahren, dass man die beiden Platten aufeinander legt, in allen Theilen zur Deckung bringt und sie dann im durchfallenden Licht betrachtet. Die auf diesem Wege gefundenen Bildverschiedenheiten treten aber hierbei als in der Ebene der Platte gelegene *Grössendifferenzen* in die Erscheinung; im stereoskopischen Sehen hingegen bewirken dieselben Bildverschiedenheiten etwas *ganz Neues*: die Objekte, an denen Bildverschiedenheiten vorkommen, *treten körperlich aus der Ebene der übrigen Objekte heraus* oder geben sich in anderer Weise, durch *Störung des stereoskopischen Effekts*, durch *Glanzerscheinungen* u. s. w. (vgl. weiter unten) *unmittelbar*, ohne dass man danach besonders zu suchen braucht, zu erkennen.

Diese Eigenschaft der stereoskopischen Methode dürfte beispielsweise für das Auffinden der an *Baulichkeiten vorkommenden Veränderungen*, für die Feststellung von *Bodensenkungen allgemeiner und lokaler Art*, für das Studium der *Gletscherbewegungen* und dgl., vor Allem aber *für die Zwecke der Himmelsphotographie* von einschneidender Bedeutung sein. Ein bekannter Astronom hat gesagt, dass unter Umständen die Aufnahmen einer einzigen Nacht soviel Material liefern, dass für einen einzelnen Astronomen zu dessen Bearbeitung ein ganzes Jahr erforderlich sei. Nach den bisherigen Methoden wird daher wohl kaum jemals eine erschöpfende Untersuchung des auf den verschiedenen Observatorien angehäuften Plattenmaterials zu erzielen sein. Thatsächlich sind die sog. Eigenbewegungen, wie von astronomischer Seite ausdrücklich bemerkt worden ist, nur erst von einer ganz verschwindend kleinen Anzahl von Sternen ermittelt worden. Auch sind das meist Sterne, die durch ihre relativ starken Eigenbewegungen oder durch ihr anderweitiges Verhalten, z. B. in Bezug auf Helligkeit und Farbe, die Aufmerksamkeit auf sich gezogen und dadurch die Veranlassung zu einer genaueren Ortsbestimmung des betreffenden Sternes zu den Nachbarsternen gegeben haben. Von der unendlichen Anzahl der übrigen, besonders der kleinen und kleinsten Sterne und von den Nebeln weiss man in der Hinsicht nichts. Hier, glaube ich, wird das stereoskopische Beobachtungsverfahren, in systematischer Weise angewandt, bald und gründlich Wandel schaffen, denn es ermöglicht, aus der grossen Zahl der Sterne sofort und ohne langes Suchen alle diejenigen Objekte herauszulesen, an denen wahrnehmbare Veränderungen stattgefunden haben und an denen dann das eigentliche Messverfahren zur genauen Ermittelung der Grösse der Eigenbewegung einzusetzen hat.

Wie ich aber noch ausdrücklich hervorheben möchte, liegt der Vortheil des stereoskopischen Verfahrens für die Astronomie hierbei nicht allein in dem bequemen und schnellen Auffinden der Sterne mit Eigenbewegungen, sondern vor Allem darin, dass hier zum ersten Mal eine Methode sich darbietet, welche die Aussicht gewährt, die für uns sichtbaren Eigenbewegungen der Sterne *in ihrer Gesammtheit* zu erfassen und dadurch über die durch die Bewegung unseres Sonnensystemes bedingten *Gemeinsamkeiten in den Fixsternbewegungen* ein wesentlich sichereres Urtheil zu erlangen, als bisher möglich war. Wenn man bedenkt, dass wir schon auf Grund der gegenwärtigen Kenntniss der Eigenbewegungen einer — immerhin grossen — Anzahl von Sternen von einer genauen Kenntniss des Ortes am Himmel, auf den sich die Sonne hinbewegt, *des Sonnenapex*, nicht mehr fern sind und auch über die

Geschwindigkeit der Sonnenbewegung, hauptsächlich in Folge der spektroskopischen Forschungen, angenähert orientirt sind, so erscheint es nicht aussichtslos, eben wegen der im stereoskopischen Verfahren erzielten genaueren Kenntniss der Lage des Sonnenapex, auch zu einer Kenntniss einer etwaigen *Fortbewegung desselben* zu gelangen. In der Hinsicht dürfte die fortgesetzte photographische Aufnahme der beiden in Frage stehenden Stellen am Himmel und die fortgesetzte stereoskopische Untersuchung der auf einander folgenden Platten besondere Berücksichtigung verdienen.

Was vorstehend von den Vortheilen der stereoskopischen Methode den Eigenbewegungen der Fixsterne gegenüber gesagt worden ist, gilt in gleicher Weise auch in Bezug auf das *Auffinden der sogenannten kleinen Planeten*, *der veränderlichen Sterne*, *der sog. Plattenfehler* und der sonst noch in Betracht kommenden *Störungen*. Im Einzelnen komme ich auf diese Dinge weiter unten noch näher zurück, und ich will daher hier nur noch vorgreifend bemerken, dass mit der Verwerthung der stereoskopischen Methode für die Zwecke der Himmelsphotographie bereits ein *vielversprechender Anfang* gemacht worden ist[1]).

Die Resultate endlich, welche bei den mit dem Komparator vorgenommenen Maassstabvergleichungen (siehe weiter unten) zu Tage gefördert wurden, lassen es für aussichtsvoll erscheinen, dass sich das stereoskopische Verfahren auch zur *Untersuchung von Spektren*, in Sonderheit von *Sternspektren* zur *Bestimmung der Geschwindigkeit der Gestirne im Visionsradius* nutzbringend verwenden lässt.

Der dritte und letzte Hauptvortheil der stereoskopischen Methode ist für die Zwecke des Stereo-Komparators von einer geradezu fundamentalen Bedeutung. Ohne ihn würden die vorhergenannten Vortheile der stereoskopischen Methode gegenstandslos sein. *Dieser Vortheil besagt nämlich, dass die stereoskopische Methode hinsichtlich der im stereoskopischen Sehen erzielten Genauigkeit in dem Erkennen kleinster Bildverschiedenheiten*[2]) *unter sonst gleichen Bedingungen (Mikroskopvergrösserung) dem monokularen Einstellungsverfahren mittels Fadenkreuz oder Doppelfaden mindestens ebenbürtig, in der Mehrzahl der Fälle aber diesem weit überlegen ist.* Denn das stereoskopische Sehen bedeutet ein Erkennen der *Raumvertheilung* der angeschauten Objekte und hat als solches mit der Art und dem Aussehen der Objekte so gut wie nichts zu thun. Es lassen sich daher im stereoskopischen Verfahren Objekte mit mehr oder weniger unscharfen Konturen, wie z. B. der Rauch eines Schornsteins, oder ein Buschwerk, oder eine Wolke am Himmel, oder ein Nebelfleck auf der Himmelskarte — alles Objekte, die im gewöhnlichen Einstellungsverfahren nur sehr schwer zu erfassen sind — *fast ebenso sicher messen*, wie ein scharf markirtes Objekt, z. B. eine Kirchthurmspitze oder das punktförmige Sternbildchen. Wie wäre man auch sonst im Stande, mit Hülfe des stereoskopischen Entfernungsmessers die Entfernungen der nur kurze Zeit sichtbaren Objekte zu ermitteln, die, wie z. B. ein vorüberfliegender Vogel, oder eine vorüberziehende Wolke, oder die durch den Geschosseinschlag aufgeworfenen Erd- und Wassergarben, schon längst wieder verschwunden sind, ehe man sich über ihre Gestalt und Gliederung eine rechte Vorstellung gebildet hat! Um diese Erfahrung zu machen, braucht man den Entfernungsmesser nicht. Man bringe nur einmal neben den aufsteigenden Rauch einer Zigarre die Spitze einer Feder und achte auf die Tiefenunterschiede zwischen der

[1]) Man vergleiche den inzwischen von Hrn. Prof. Wolf in Heidelberg erstatteten Bericht (*Astron. Nachr. Nr. 3749. 1901*) über die von ihm vorgenommenen Versuche zur Erprobung des Stereo-Komparators für astronomische Zwecke.

[2]) Siehe meinen Aufsatz über die Prüfungstafel, *diese Zeitschr.* **21.** *S. 249. 1901.*

Federspitze und den einzelnen Theilen des Rauches. Man wird finden, dass diese Tiefenunterschiede fast ebenso leicht und sicher erkannt werden, wie die Tiefenunterschiede zwischen der Federspitze und der Zigarre selbst oder einem anderen festen Gegenstande auf dem Tisch.

Dieser Vortheil ist von spezifischer Bedeutung für die Verwendung des Komparators für *Wolkenhöhenmessungen* u. dgl. Von Seiten der photographischen Abtheilung der Zeiss'schen Werkstaette ist auf meine Bitte kürzlich eine Stereo-Momentaufnahme von *Wolken direkt gegen die Sonne* mit nur 10 *m* Basis gemacht worden, die nicht allein zu befriedigenden Messungsergebnissen geführt hat, sondern auch insofern einen ganz eigenartigen Reiz darbietet, als die Sonne ein ganz erhebliches Stück weit hinter den Wolken erscheint.

Derselbe Vorzug lässt es ferner für höchst aussichtsvoll erscheinen, bald auch endgültig über die Höhe der *Sternschnuppen* und der *Nordlichter* ins Klare zu kommen. Das Gleiche gilt hinsichtlich der stereoskopischen Betrachtung von *Sonnenflecken, des Zodiakallichtes, der Kometen* und der Beobachtung etwaiger *Veränderungen der Nebel* am Sternenhimmel. Wir kommen auf diese Dinge noch näher zurück.

Die sämmtlichen vorbezeichneten Anwendungsgebiete und Vortheile des Stereo-Komparators gelten ausschliesslich für den *binokularen* Gebrauch des Apparates. Selbstverständlich aber ist der Stereo-Komparator auch als *Längenmessapparat für monokulare Beobachtung* zu verwenden, und zwar können derartige Messungen sowohl mit Benutzung der am Apparat selbst vorhandenen Messeinrichtungen, als auch mit Hinzuziehung eines auf dem Apparat zu befestigenden Maassstabes und nach Art des sonst bei Komparatoren üblichen Verfahrens bewerkstelligt werden, wobei der relativ geringe Abstand der Okulare sogar noch als besondere Annehmlichkeit beim Beobachten empfunden wird. Diese Art der Verwendungsweise des Stereo-Komparators ist in Sonderheit da von Werth, wo es sich um den *Vergleich ungleichartiger Maassstäbe* und um die Ausmessung des Abstandes zweier Bildpunkte handelt.

II. Aeltere Vorschläge und Versuche.

Durch Hrn. Prof. Wolf in Heidelberg bin ich bei Gelegenheit der im August 1901 bewirkten Vorstellung des Stereo-Komparators darauf aufmerksam gemacht worden, dass der Vorschlag, photographische Sternaufnahmen zum Zwecke der schnellen Auffindung von Fixsternparallaxen und Eigenbewegungen stereoskopisch mit einander zu vergleichen, keineswegs neu, sondern im letzten Jahrzehnt in den Astronomischen Nachrichten mehrfach zur Sprache gebracht sei[1]). Auch habe er selbst schon vor 1890 zusammen mit Lenard versucht[2]), die stereoskopische Methode für den Vergleich von Sternaufnahmen in Anwendung zu bringen.

Irgend welche praktischen Ergebnisse aber haben diese Mittheilungen ebenso wenig gebracht, wie die neuerdings von Hrn. M. Hamy in Paris[3]) gemachten Vorschläge über die Verwendung des Stereoskops in der Astronomie, die sich sowohl auf das Auffinden von Fixsternparallaxen als auch auf das Studium von Bewegungsvorgängen auf der Sonne beziehen. Es ist das auch leicht begreiflich, denn solange man nicht im Stande war, ganz abgesehen von dem eigentlichen stereoskopischen

[1]) *A suggestion to astronomers by Kummel* (Washington), *Astron. Nachr. Nr. 2799. 1887*; Hülfsmittel zur Erkennung von Bewegungserscheinungen auf Photographien des Sternhimmels, Mittheilung von Foerster und Wellmann, *Astron. Nachr. Nr. 3122. 1892.*

[2]) *Astron. Nachr. Nr. 3319. 1895.*

[3]) Hamy, *Compt. rend.* **132.** *S. 1467. 1901.*

Messverfahren, die nebeneinander gelegten photographischen Platten stereoskopisch zu betrachten und hierbei eine Mikroskopvergrösserung in Anwendung zu bringen, welche auch die kleinsten Bildverschiedenheiten der beiden Platten zu erkennen gestattet, war an eine erfolgreiche praktische Verwerthung der stereoskopischen Methode für die Zwecke der Astronomie nicht zu denken.

Aus dem Grunde sind die bisherigen Stereoskope — das Wheatstone-Brewster'-sche Prismenstereoskop (1850) und das später von Duboscq ausgebildete Linsenstereoskop sowie das Wheatstone'sche Spiegelstereoskop (1838) und das Helmholtz'sche Telestereoskop (1857) — für eine Realisirung der vorliegenden Ideen so gut wie gar nicht verwendbar. Bei allen diesen Stereoskopen ist der Abstand der Augen vom Stereoskopbild zu gross und daher das Tiefenunterscheidungsvermögen zu gering, um alle diejenigen stereoskopischen Effekte zur Wahrnehmung zu bringen, welche das photographische Stereoskopbild aufzuweisen hat. Der Anwendung der beiden erstgenannten Stereoskope steht ausserdem die Grösse der Platten im Wege; die Bilder müssen, wenn sie mit einem dieser beiden Stereoskope überhaupt stereoskopisch betrachtet werden sollen, in ihrer Grösse stark reduzirt und auf einen Abstand von höchstens 70 *mm* von einander gebracht werden. Die beiden anderen Stereoskope sind allerdings für die Untersuchung grösserer Platten geeignet, wenn auch die Anwendbarkeit des Wheatstone'schen Spiegelteleskops für diesen Zweck wegen der Art der Plattenaufstellung bisher wenig Anklang und die Anwendbarkeit des in erster Linie für die Betrachtung der Landschaft bestimmten Helmholtz'schen Telestereoskops für den gleichen Zweck wenig Beachtung gefunden haben. Aber bei diesen beiden Spiegelstereoskopen ist der Abstand der Augen von den Stereoskopbildern noch grösser, und sie sind daher nur für den stereoskopischen Gesammtüberblick, nicht aber für Detailuntersuchungen geeignet.

Immerhin haben die vorgenannten Stereoskope als Demonstrationsapparate auch für astronomische Zwecke grossen didaktischen Werth und es ist daher einigermaassen auffallend, dass *die erste praktische Anwendung der Stereoskopie* auf astronomischem Gebiete, welche vor 43 Jahren Warren de la Rue durch die von ihm hergestellten *Stereoskopbilder des Mondes* begründete, bis auf den heutigen Tag auch *die letzte* geblieben ist. Bekanntlich ist bei diesen Stereoskopbildern der stereoskopische Effekt, welcher den Anblick des Mondes dem einer geschälten Apfelsine vergleichbar macht, durch die Libration des Mondes erzielt worden. Ob man schon einmal versucht hat, die neueren, viel vollkommeneren Mondphotographien von der Lick-Sternwarte, welche vor Kurzem Hr. Prof. Franz in Breslau zum Zweck des Nivellements der Mondoberfläche ausgemessen hat[1]), stereoskopisch zu betrachten, weiss ich nicht. Ueber die mit dem Stereo-Komparator vorgenommene Ausmessung der Kugelgestalt des Mondes siehe weiter unten.

Mit der *praktischen Anwendung der Stereoskopie auf entfernte irdische Objekte* steht es nicht besser, wie mit der Anwendung auf die Astronomie. Das Helmholtz'sche Telestereoskop ist auch schon mehr als 40 Jahre alt. Aber wer unter den Berufsphotographen und Liebhabern der Photographie befasst sich jetzt mit der Herstellung von Stereoskopbildern mit 10 *m*, 20 *m* oder gar 100 *m* langen Standlinien, trotzdem hierzu *ein* photographischer Apparat vollständig ausreicht? Jedenfalls giebt es der Interessenten hierfür zur Zeit erst noch sehr wenige. Wie wäre es sonst möglich, dass man so selten einmal einem wirklichen Telestereoskopbild begegnet?

---

[1]) J. Franz, Ortsbestimmung von 150 Mondkratern. *Mittheilgn. d. Breslauer Sternwarte* **1.** *1901.*

In allerneuster Zeit ist allerdings das Interesse an telestereoskopischen Aufnahmen auch von anderer Seite wieder lebendig geworden. In Sonderheit haben im letzten Jahre die Hrn. Laussedat[1]) in Paris und von Hübl[2]) in Wien, angeregt durch die Erfolge mit dem stereoskopischen Entfernungsmesser, auf den Werth einer telestereoskopischen Betrachtung der Landschaft für *photogrammetrische* Zwecke öffentlich und in an die Firma gerichteten Briefen hingewiesen. In Jena ist die Aufgabe, das stereoskopische Beobachtungs- und Messverfahren für photogrammetrische Zwecke verwerthbar zu machen, schon seit dem Jahre 1895, damals mit Rücksicht auf die photogrammetrischen Arbeiten des Hrn. Professor C. Koppe in Braunschweig[3]), verfolgt worden, wurde aber dann in den folgenden Jahren durch andere Arbeiten zurückgedrängt.

Auf den Werth „telestereoskopischer Aufnahmen für die Erforschung des Nebenterrains einer Reiseroute" hat ferner im Jahre 1893 Hr. Dr. F. Stolze[4]) hingewiesen und im Wesentlichen für deren Betrachtung die beiden obengenannten Spiegelstereoskope in Vorschlag gebracht. Was aber seine Vorschläge besonders erwähnenswerth macht, ist der Umstand, dass Hr. Stolze zur Ausmessung der Platten ein Verfahren in Anwendung bringt, welches im *Prinzip* auf der gleichen Grundlage beruht, wie der um die gleiche Zeit von der Werkstätte in Angriff genommene stereoskopische Entfernungsmesser nach der Idee von de Grousilliers. Zur Messung benutzt nämlich Hr. Stolze zwei gleiche, in bestimmter Orientirung unmittelbar vor den Bildern aufgestellte, in Glas eingeätzte Gitter, von denen das eine horizontal und parallel zur Bildfläche messbar zum Verschieben eingerichtet ist, während das andere Gitter seine Lage zum Bilde unverändert beibehält. Hierdurch entsteht gleichzeitig mit dem Stereoskopbild der Landschaft ein Stereoskopbild des Gitters, welches je nach der Gitterstellung mit dem einen oder mit dem anderen Objekt in der Landschaft in der gleichen Entfernung gesehen wird. Die Erscheinung deckt sich, wie man sofort sieht, im Grossen und Ganzen mit der Erscheinung der wandernden Marke im Entfernungsmesser und im Stereo-Komparator. Ein wesentlicher Unterschied ist aber der, dass die das künstliche Raumbild erzeugenden Marken im Stolze'schen Apparat sich unmittelbar vor den photographischen Platten, im stereoskopischen Entfernungsmesser und im Stereo-Komparator in den Bildfeldebenen der Fernrohre bezw. der Mikroskope sich befinden. Hr. Stolze scheint an seinem Apparat, von dem er selbst angiebt, dass er auf grosse Genauigkeit keinen Anspruch erheben dürfe, nicht weiter gearbeitet zu haben. Mir ist nichts darüber bekannt geworden, dass das Verfahren irgend welche praktische Verwerthung gefunden hat.

Uebrigens lassen sich die *Anfänge* der dem stereoskopischen Messverfahren zu Grunde liegenden Idee der Superposition zweier Raumbilder noch viel weiter zurück verfolgen. In einem auch in anderer Hinsicht höchst beachtenswerthen Aufsatz von Prof. E. Mach aus dem Jahre 1866 „Ueber wissenschaftliche Anwendungen der Photographie und der Stereoskopie"[5]) bespricht der Verfasser ein für didaktische Zwecke, in Sonderheit für das Studium der Stereometrie, der darstellenden Geometrie, für die Veranschaulichung von Maschinentheilen, anatomischen Präparaten, für die photogra-

---

[1]) Laussedat, *Ann. du Conservatoire des arts et métiers, Paris.* **3.** *S. 33. 1901.*

[2]) von Hübl, Die photogrammetrischen Terrainaufnahmen. *Mitth. d. k. k. militär-geographischen Instituts, Wien.* **19.** *S. 106. 1900.*

[3]) Koppe, Photogrammetrie und internationale Wolkenmessung. Braunschweig 1896.

[4]) Stolze, *Photogr. Bibliothek* **1.** *S. 60. 1893.*

[5]) *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien.* **54.** *S. 123. 1866.*

phische Darstellung der sog. Geistererscheinungen[1]) u. dgl., werthvolles Verfahren, die einander überdeckenden Theile eines Körpers *nacheinander auf dasselbe Plattenpaar* zu photographiren, sodass man später im Stereoskopbild in das Innere des Körpers wie durch Glaswände schaut. Sodann bespricht Mach eine uns hier besonders interessirende *Anwendung der Stereoskopie zur „Schätzung oder Messung von Raumgrössen"*. Er sagt: „Bringt man einen beliebigen Körper und etwa das Drahtmodell eines Kubikfusses, der in Kubikzoll abgetheilt ist, nebeneinander und dazwischen ein unbelegtes Planglas, so scheint der Kubikfuss den Körper zu durchdringen, und es ist nicht schwer, Schätzungen oder Messungen an dem Körper auf diese Weise vorzunehmen". Es ist zwar hier nicht ausdrücklich von der Entfernungsmessung die Rede, aber diese ist in dem umfassenderen Ausdruck Raummessung mit enthalten. Auch hat Mach bereits in jenem Aufsatz die Skizze zu einem Apparat angegeben, der im Wesentlichen auf der Anwendung des Wheatstone'schen Spiegelstereoskops beruht, nur dass die unter 45° vor den Augen stehenden Spiegel durch durchsichtige Glasplatten ersetzt sind, mit deren Hülfe *ein künstliches Stereoskopbild*, herrührend von zwei seitwärts vom Beobachter aufgestellten kubischen Netzzeichnungen auf Glas, in den Objektraum hinausprojizirt erscheint. In ähnlicher Weise hat Hr. Mach, wie aus einer kurzen Schlussbemerkung hervorgeht, auch an eine entsprechende Verwendung des damals eben erst bekannt gewordenen Helmholtz'schen Telestereoskops gedacht. Wie sich Hr. Mach diese Anordnung vorgestellt hat, ist aus seinem Aufsatz nicht zu ersehen. Ich denke mir etwa so, dass man die beiden inneren Spiegel des Telestereoskops durch unbelegte Spiegelglasplatten ersetzt und vor diese entweder ein gewöhnliches Stereoskop mit darin eingesetzten künstlichen Raumbildern oder das wirkliche Drahtmodell eines Kubikfusses o. dgl. aufstellt, sodass das stereoskopische Raumbild der entfernten Landschaft in das unmittelbar vor dem Beobachter befindliche Messbild hineinprojizirt erscheint.

Die allerersten Regungen der Idee dürften sogar noch viel weiter zurückliegen. Die Erscheinung des Hineinprojizirens eines virtuellen Raumbildes in den Objektraum kann man täglich an den Fensterscheiben beobachten. Die Schauspieler haben schon sehr früh gelernt, für ihre Geistererscheinungen auf der Bühne von diesem Effekt entsprechenden Gebrauch zu machen. In Sonderheit musste der betreffende Schauspieler, welcher von dem „Geist" auf der Bühne befallen werden sollte, um den Effekt zu einem vollkommenen zu gestalten, eine vorher genau bezeichnete Stelle einnehmen, die ebenso weit hinter dem Glasspiegel gelegen ist, wie der Geistdarsteller vor demselben sich befindet. Nach diesem Verfahren liesse sich sogar ein allerdings nur für Demonstrationszwecke geeigneter stereoskopischer Entfernungsmesser etwa in der Weise einrichten und anwenden, dass man z. B. auf die Spiegelglasscheibe eines Schaufensters von aussen einen Maassstab aufsetzt und an dem stereoskopisch wahrgenommenen Spiegelbild des Maassstabes die Ausmessung der Entfernungen der hinter der Glasscheibe in der Auslage befindlichen Gegenstände vornimmt. Aber ein solches Verfahren hat, ebenso wie die von mir vor Kurzem in dieser Zeitschrift beschriebenen Versuche mit dem Stereoskopapparat ohne Linsen[2]), *nur didaktischen Werth*. Ein für die *praktischen* Bedürfnisse brauchbares Messverfahren ist damit ebenso wenig, wie mit der Mach'schen oder der Stolze'schen Anordnung erreicht.

[1]) Diese nach dem Vorgange von Brewster, *The stereoscope. S. 175, 205.*

[2]) Ueber einige stereoskopische Versuche, *diese Zeitschr.* **21.** *S. 221. 1901.*

III. Einrichtung, Theorie und Handhabung des Stereo-Komparators.

Die umstehende Fig. 1 zeigt den Stereo-Komparator in der ersten *Probeausführung*. Im Wesentlichen sind an diesem für das Maximal-Plattenformat 13 × 18 *cm* eingerichteten Apparat alle für die Zwecke des Stereo-Komparators nothwendigen Hülfseinrichtungen vorhanden. Die gegenwärtig zur Ausführung gelangenden *neuen Apparate*[1]) unterscheiden sich daher von dem vorliegenden Apparat nur durch die Dimensionen und durch eine andere, zweckentsprechendere Anordnung einzelner Theile. Ich werde im Folgenden die Unterschiede jedesmal angeben.

Die *Gesammtanordnung* des Apparates ist aus der Figur sofort zu ersehen. Die mit einander zu vergleichenden Platten P_1 und P_2 sind in gleicher Höhe nebeneinander, jede für sich in ihrer Ebene drehbar und verschiebbar und beide zusammen auf einem Kreuzschlitten (D und E) nach allen Richtungen bewegbar, auf der stark geneigten Vorderseite eines nach Art eines Lesepultes gebauten Trägers angebracht. An diesem Träger ist auch das zur Beobachtung dienende binokulare Mikroskop mittels eines von oben über das Plattenpaar greifenden Armes T befestigt. Der Beobachter hat somit in unveränderter Kopfhaltung mit ein wenig abwärts gerichtetem Blick in die beiden Okulare O_1 und O_2 hineinzuschauen und kann dann die beim Verschieben des Plattenpaares vorüberziehenden Objekte auf den Platten in grösster Bequemlichkeit betrachten.

Im Einzelnen ist über die getroffenen Einrichtungen Folgendes zu bemerken.

Auflage und Befestigung der Platten. Die drehbare Scheibe, auf welche die zu untersuchende Platte zu liegen kommt, ist mit einer Durchbrechung versehen, welche nur wenig kleiner ist als das Maximal-Plattenformat, sodass die Platte ringsum am Rande in einer Breite von mehreren Millimeter aufliegt. Gegen das Herunterfallen ist die Platte durch die schräge Lage des Tisches, gegen Verrückungen zur Seite durch vier Leisten, von denen zwei fest, zwei verstellbar sind, geschützt. Die gleiche Art der Befestigung erfahren die für die Auflage kleinerer Platten bestimmten und mit entsprechenden Durchbrechungen und Befestigungsleisten versehenen Einlageplatten.

Beleuchtung. Für die Beleuchtung einer jeden Platte *im durchfallenden Lichte* dient je eine mit der drehbaren Scheibe fest verbundene und etwa $1^1/_2$ *cm* von der Platte abstehende Mattglasscheibe. Sie empfängt das von den Spiegeln SS reflektirte Tages- oder Lampenlicht und giebt dieses in durchaus geeigneter Form an die zu untersuchende Glasplatte P_1 bezw. P_2 weiter. Die Regulirung der Stellung der Spiegel S erfolgt für beide gleichzeitig durch Drehen an R. Die Beleuchtung durch das schräg einfallende Tageslicht ist ohne Weiteres dadurch gegeben, dass man den ganzen Apparat vor ein helles Fenster stellt. Für die künstliche Beleuchtung haben sich elektrische Glühlampen mit mattgeschliffenen Birnen gut bewährt, zu deren Befestigung oberhalb der Spiegel leicht wegschlagbare Halter angebracht sind. Für die *Beleuchtung undurchsichtiger Objekte*, in Sonderheit auch zur Sichtbarmachung der

[1]) In Fabrikation befinden sich gegenwärtig zwei Modelle, ein für Hrn. Prof. Wolf in Heidelberg bestimmtes und seinen besonderen Wünschen angepasstes *grösseres Modell für das Maximalplattenformat* 24 × 30 *cm* und ein für das Plattenformat 13 × 18 *cm* und für die Zwecke der Himmelskarte — Plattenformat 16 × 16 *cm* — bestimmtes *zweites, kleineres Modell.* Da bei beiden Modellen die Untersuchung kleinerer Platten bis zu der Grösse des Maximalplattenformats durch passend angeordnete *Einlageplatten* möglich gemacht ist, so ist, wie ich glaube, der grossen Mannigfaltigkeit im Plattenformat sowohl bei astronomischen, als auch bei photogrammetrischen Aufgaben durch die beiden vorbezeichneten Modelle für die nächste Zeit wenigstens Genüge gethan.

Ablesevorrichtungen am Apparat sind ebenfalls Glühlampen, die von der Zimmerdecke oberhalb des Beobachters herabhängen, zu empfehlen.

Verschiebbarkeit der einzelnen Platten. Um die Platten in jedem beliebigen Positionswinkel *justiren*, d. h. in die für die stereoskopische Betrachtung des Plattenpaares geeignete Stellung zum Beobachtungsapparat bringen zu können, genügt es, wenn man jede einzelne Platte in ihrer Ebene drehen und so verschieben kann, dass die Verschiebungsrichtung der einen Platte senkrecht zu der Verschiebungsrichtung der anderen Platte steht. Ueber die Justirung selbst siehe weiter unten.

Mit Rücksicht auf das bei dem Stereo-Komparator in Anwendung zu bringende Messverfahren ist nun die eine der beiden Schlittenführungen *horizontal*, d. h. der Verbindungslinie der Okulare parallel, die andere senkrecht dazu gelegt, und,

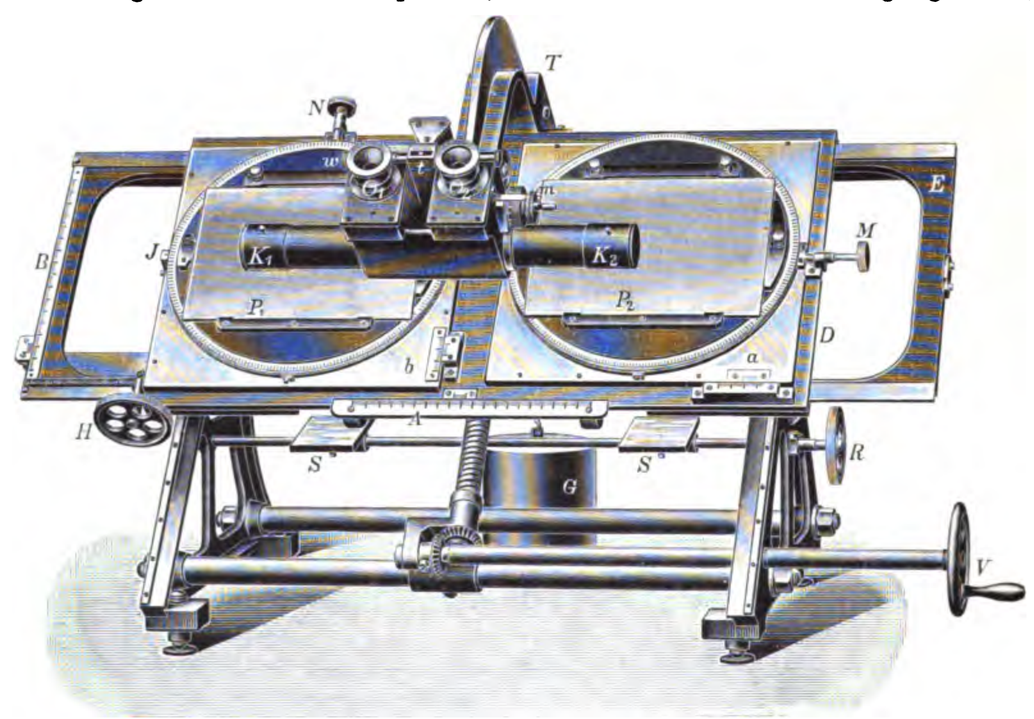


Fig. 1. Stereo-Komparator (etwa 1/5 nat. Grösse).

damit diese Verschiebungsrichtungen auch bei der Drehung der Platten erhalten bleiben, ist die Schlittenführung beiderseits *unterhalb der Drehscheibe* angeordnet. Der Positionswinkel der Platten wird an dem Index J der Kreistheilung und die durch die Feinbewegungsschrauben M und N bewirkte Seiten- und Höheneinstellung der Platten an den mit Nonius (Ablesungsgenauigkeit 1 bis 2 hundertstel *mm*) versehenen Maassstäben a und b abgelesen.

Bei den neuen Apparaten befinden sich die vorbezeichneten Schlitten auf *einer* Seite des Apparates und zwar als Kreuzschlitten unterhalb der Drehscheibe für die rechte Platte P_2. Ferner liegt die Schraube N jetzt unten und daher für die Hand bequemer. Des Weiteren ist die Kreistheilung jetzt nur noch an der rechten Drehscheibe vorhanden. Endlich ist die rechte Scheibe zusammen mit Theilkreis und Nonius mit einer Vorrichtung zum Heben und Senken um einige Millimeter in der Richtung der Plattennormale eingerichtet, sodass der Beobachter nunmehr auch in der Lage ist, die durch ungleiche Plattendicke entstehenden Höhendifferenzen von P_1 und P_2 wieder auszugleichen.

Ferner ist bei den neuen Modellen auch die linke Platte P_1 in zwei zu einander senkrechten Richtungen und zwar von der Mitte aus nach jeder Seite um die halbe Seitenlänge der Platte zum Verschieben eingerichtet. Der hierfür dienende Kreuzschlitten liegt aber nicht wie bei der rechten Platte unterhalb, sondern *oberhalb* der Drehscheibe. Durch diese Anordnung wird in erster Linie einem von Hrn. Prof. Wolf ausgesprochenen Verlangen Rechnung getragen, *benachbarte* Sternaufnahmen besser, wie bei dem Versuchsinstrument möglich war, mit einander vergleichen zu können. Die Verschiebung ist gleich so bemessen, dass nun auch den Anforderungen an den Vergleich der dachziegelartig übereinandergreifenden Nachbarplatten der *Himmelskarte* Genüge gethan ist. Es kann also nicht nur die Mitte der einen Platte nach Belieben mit jedem Punkte der anderen Platte, einschliesslich des Plattenrandes, verglichen werden, sondern es ist auch durch die Anordnung des Kreuzrahmens für P_1 oberhalb der Drehscheibe der stereoskopische Vergleich des beiden Platten gemeinsamen Theiles in jedem *beliebigen Positionswinkel* gesichert.

Verschiebbarkeit des Plattenpaares. Die Einrichtungen hierfür sind aus der Figur leicht zu erkennen. Mittels der mit Zahn und Trieb versehenen Handhabe H wird der das Plattenpaar tragende Rahmen D in horizontaler Richtung an dem mit Führungsleiste versehenen Rahmen E entlang bewegt. Endlich setzt die mit Kegelrädern und mit einer Schraube in Verbindung stehende Kurbel V den Rahmen E mit allen darauf befindlichen Theilen nach oben und unten in Bewegung. Das Gewicht des ganzen Schlittenapparates wird durch das Gegengewicht G ausgeglichen. Die Gesammtverschiebung ist in beiden Richtungen gleich der Diagonale der Platte. Die jedesmalige Stellung des Plattenpaares wird an den beiden in Millimeter getheilten Maassstäben A und B abgelesen.

Bei dem grösseren der beiden neuen Modelle ist die Verschiebbarkeit des Plattenpaares in vertikaler Richtung aus technischen Gründen in Wegfall gekommen und dafür der Beobachtungsapparat in gleicher Richtung zum Verschieben eingerichtet. Da die Beobachtungsrichtung hierbei unverändert bestehen bleibt, so bildet diese Anordnung, wenn man überdies noch einen Beobachtungsstuhl mit in der Höhe verstellbarem Sitz benutzt, keine ernstliche Unbequemlichkeit für den Beobachter. Selbstverständlich gehen die Beleuchtungsspiegel hierbei mit dem Beobachtungsapparat.

Die Beobachtungsapparate. Ich hatte weiter oben schon erwähnt, dass der Stereo-Komparator mit zwei Stereoskopen ausgerüstet ist, von denen das eine, ein den Anforderungen des Stereo-Komparators entsprechend eingerichtetes Helmholtz'sches *Spiegelstereoskop*, für die stereoskopische Betrachtung der Platten in ihrer Gesammtausdehnung, und das andere, in Fig. 1 sichtbare *binokulare Mikroskop* — Vergrösserung 4-, 6- und 8-fach — für die Detailuntersuchung und für die eigentliche Messung bestimmt ist. Diese beiden Stereoskope sind leicht gegen einander austauschbar. Jedes ist mit einer Einrichtung zum Aufstecken auf das dem Träger T aufgesetzte Dreikant (siehe Fig. 1) versehen und an diesem entlang mittels Zahn und Trieb fein einstellbar und festklemmbar.

Die beiden Beobachtungsapparate geben aufrechte Bilder, wie im direkten Anblick der auf dem Komparator liegenden Platten. Bei dem Spiegelstereoskop war diese Eigenschaft ohne Weiteres vorhanden. Bei dem Mikroskop-Stereoskop ist sie durch Einfügung je eines Porro'schen Prismensystemes in den Strahlengang eines jeden Mikroskopes, welches die durch das Mikroskopobjektiv bewirkte Bildumkehrung wieder aufhebt, herbeigeführt worden.

Der *Strahlengang im Stereo-Komparator* ist aus den nachstehenden schematischen Zeichnungen zu ersehen. Die bei der Aufnahme (Fig. 2) erhaltenen Platten P_1 und P_2 sind entsprechend den im Folgenden formulirten Anforderungen an die Orientirung der Platten zu einander auf dem Stereo-Komparator befestigt und werden in dieser Lage durch das Mikroskop-Stereoskop (Fig. 3) bezw. durch das Spiegelstereoskop (Fig. 4) betrachtet.

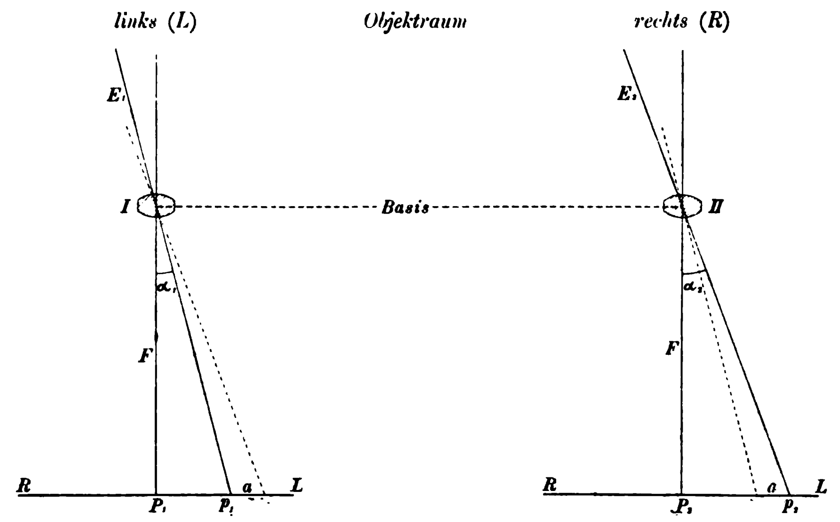


Fig. 2. Strahlengang bei der photographischen Aufnahme.

Jede Platte wird in ihrer Ebene um 180° gedreht.

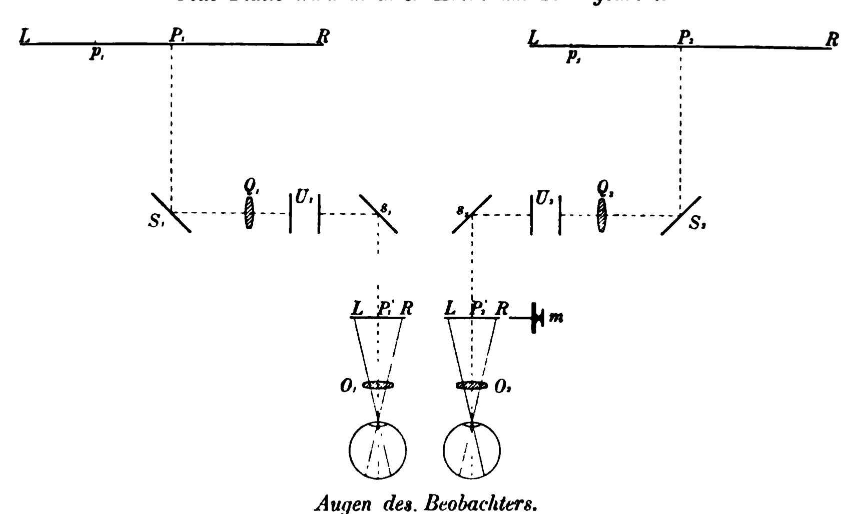


Fig. 3. Strahlengang im Mikroskop-Stereoskop.

Was zunächst das Mikroskop-Stereoskop anbetrifft, so hängt in der in Fig. 3 gezeichneten Stellung der Objektive Q_1 und Q_2 die *Vergrösserung des Systems* ausschliesslich von der Eigenvergrösserung (ungefähr 6-fach) der Okulare ($f = 30$ *mm*) ab, insofern nämlich in den beiderseitigen Bildfeldebenen das Objekt in natürlicher Grösse zur Abbildung gelangt. Die Objektive sind aber in der Richtung der Achse beiderseits zum Verschieben eingerichtet, und es lässt sich hierdurch die Vergrösserung der Mikroskope auf jeden beliebigen Werth zwischen 4-fach und 8-fach ein-

stellen. Die Vergrösserungen 4-fach und 8-fach sind durch Anschläge, die Vergrösserung 6-fach durch einen Indexstrich am Umhüllungsrohr kenntlich gemacht.

Ueber den *Strahlengang im Spiegelstereoskop und dessen Einrichtung* giebt Fig. 4 hinreichend Aufschluss. Das Spiegelstereoskop ist vorwiegend für die stereoskopische Betrachtung telestereoskopischer Landschaftsaufnahmen von Bedeutung. Wir betrachten M_1 und M_2 als die Mittelpunkte der im Vordergrund der Landschaft gelegenen Blende BB, wie man sie sich leicht durch Auflegen je einer kreisförmig durchbohrten Pappscheibe auf die beiden Platten P_1 und P_2 erzeugen kann und durch die man dann, wie beim Ausblick ins Freie durch ein Fenster, in die Landschaft hinaussehen kann. Dem zu Folge ist die Stellung der vier Spiegel, von denen s_1

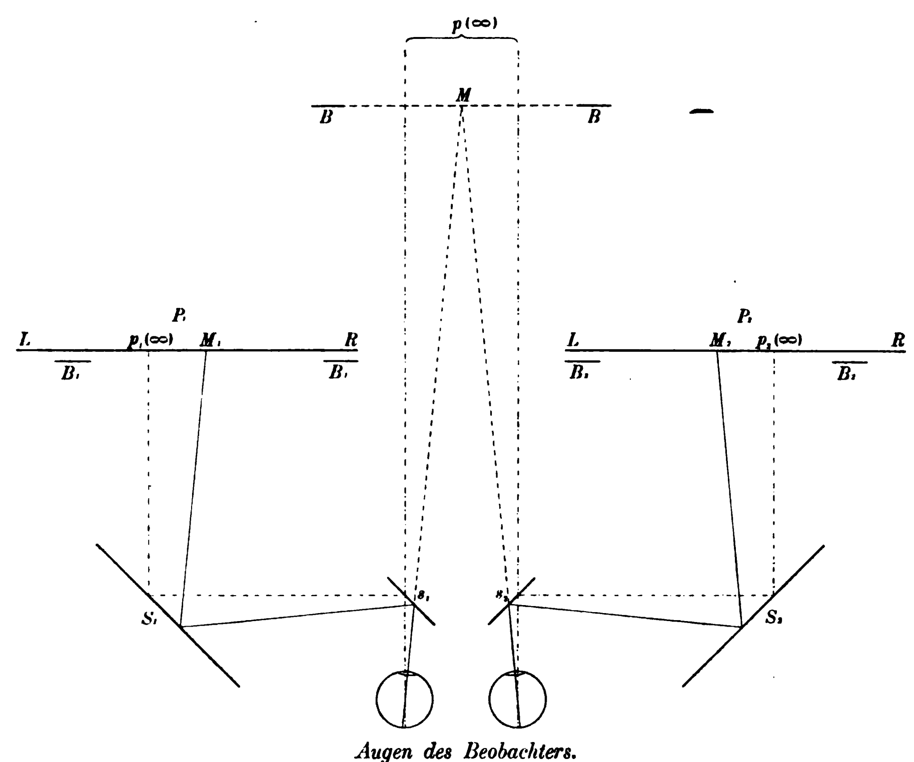


Fig. 4. Strahlengang im Spiegel-Stereoskop.

und s_2 durch Glasprismen mit versilberter Spiegelfläche, S_1 und S_2 durch Spiegelglasplatten mit versilberter Vorderfläche dargestellt werden, so zu einander regulirt und muss der Abstand der Platten bezw. der Blenden von einander so bemessen werden, dass das stereoskopische Raumbild der Blende BB angenähert den gleichen Abstand vom Auge erhält, wie die Platten selbst. BB in Fig. 4 erscheint dann im binokularen Sehen als die Einblicköffnung für das dahinter liegende Raumbild. Eine besonders sorgfältige Justirung der Platten zu einander ist bei Benutzung des Spiegelstereoskops nicht erforderlich; doch empfiehlt es sich, die Beobachtung mit dem Spiegelstereoskop erst *nach* erfolgter Justirung der Platten in Bezug auf das Mikroskop-Stereoskop eintreten zu lassen.

Es ist selbstverständlich, dass kurzsichtige Beobachter sich bei Benutzung des Spiegelstereoskopes vorerst mit einer geeigneten Brille versehen müssen, welche sie befähigt, das in dem ziemlich erheblichen Abstand vom Auge befindliche Objekt deutlich zu sehen.

Ferner ist hinsichtlich des Spiegelstereoskops noch bemerkenswerth, dass, wenn die Brennweite des Objektivs, mit dem die Aufnahme der beiden Platten P_1 und P_2 erfolgt ist, gleich ist dem Plattenabstand vom Auge, das Landschaftsbild dem Beobachter *in gleicher perspektivischer Anordnung* erscheint, wie wenn er vom Standort der Aufnahme, von der Mitte des Objektivs aus, die Landschaft im freien Sehen anschauen würde.

Einrichtung und Handhabung des Mikroskop-Stereoskops. In erster Linie kommt hierbei in Betracht die *Einstellung der Okulare in Bezug auf Sehschärfe und Augenabstand.* Es geschieht dies in der Weise, dass man durch Drehen der Okularmuschel jedes der beiden Okulare so einstellt, dass man mit dem rechten Auge die im Bildfeld des rechten Okulars, mit dem linken Auge die im Bildfeld des linken Okulars befindliche und für die Messung bestimmte Marke (vergleiche unten) in grösster Deutlichkeit sieht und dann durch Drehen an der Walze *w* (Fig. 1) den Okularabstand so regulirt, dass man bei gleichzeitigem Einblick in beide Okulare ein gutes stereoskopisches Bild der das Gesichtsfeld einschliessenden Blende und der Marke — keine Doppelbilder — erhält. Ist dem Beobachter der Refraktionszustand seiner Augen und der Augenabstand bekannt, so kann die Einstellung der Okulare mit Hülfe der vorhandenen Dioptrientheilung und der Theilung *t* für den Augenabstand bewirkt werden. Für die Messung des Augenabstandes wird von Seiten der Firma ein einfacher und zuverlässiger Augenabstandsmesser[1]) zur Verfügung gestellt.

Sodann ist die Einstellung des Mikroskop-Stereoskops auf *grösste Deutlichkeit des zu beobachtenden Objektbildes* vorzunehmen. Es geschieht dies für beide Mikroskope gleichzeitig, wobei auf Verschwinden der Parallaxe zwischen Marke und Bild einzustellen ist. Etwaige Ungleichheiten in der Bildschärfe rechts und links werden durch die oben erwähnte Höheneinstellung der rechten Platte zum Verschwinden gebracht. Die so bewirkte Einstellung des binokularen Mikroskops kann für denselben Beobachter nunmehr unverändert bestehen bleiben. Schaut ein anderer Beobachter in den Apparat, so sind *nur die Okulare*, nicht aber das Mikroskop von Neuem einzustellen.

Was endlich *die zur Messung dienenden Einrichtungen des Mikroskop-Stereoskops* anbetrifft, so ist klar, dass angesichts der verschiedenartigen Verwendungsweise des Stereo-Komparators als stereoskopische Messmarke nur die mikrometrisch in die Tiefe bewegbare sogenannte „wandernde Marke" in Frage kommt. Denn diejenigen Gründe, welche bei dem stereoskopischen Entfernungsmesser für die Wahl der feststehenden und geradlinig in die Tiefe führenden Markenreihen entscheidend gewesen sind, die Möglichkeit des schnellen Erfassens der Entfernungen, in Sonderheit von bewegten oder nur kurze Zeit sichtbaren Objekten, kommen dem auf der photographischen Platte fixirten Bilde gegenüber in Wegfall. Ueberdies bietet das mikrometrische Messverfahren den Vortheil, hinter einander mehrere von einander unabhängige Messungen an demselben Objekt auszuführen und dadurch eine grössere Sicherheit der Messung zu erzielen.

Die Messeinrichtung selbst besteht in der in Fig. 1 sichtbaren und in Fig. 3 schematisch angedeuteten Mikrometerschraube *m*, durch welche die im rechten Okular befindliche Marke unterhalb der feststehenden Blende in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Okulare bewegt wird. Die seitliche Verschiebung der Marke beträgt für eine Umdrehung der Schraube 0,2 *mm*, die Messtrommel ist in 200 Theile getheilt, jeder zehnte Theil ist von 0 bis 20 (hundertstel Millimeter) beziffert, ein Theil ist also gleich 0,001 *mm*. Die Marke selbst ist ein kurzer vertikaler Strich.

---

[1]) Siehe *diese Zeitschr.* **21.** *S. 260. 1901.*

Diese Mikrometerschraube ist indess nur für Differenzmessungen, also für das Ausmessen kleinerer Tiefenunterschiede bestimmt. Für photogrammetrische Aufgaben, bei denen es sich oft um die Messung parallaktischer Differenzen im Betrage von mehr als 30 *mm* handelt, ist die Mikrometerschraube *m* schon deshalb nicht geeignet, weil die parallaktischen Verschiebungen der Bildpunkte für verschieden weit entfernte Objekte meist so stark von einander abweichen, dass man beim Uebergang von einem Objekt zum anderen eine Verschiebung der Platte P_2 in horizontaler Richtung mit Hülfe der Schraube *M* vornehmen muss, welche oft grösser ist als der Durchmesser des Gesichtsfeldes, ehe man von dem betreffenden Theil der Landschaft überhaupt erst ein stereoskopisches Bild erhält. Daher empfiehlt es sich bei der Ausmessung photogrammetrischer Platten, die Mikrometerschraube *m* in ihrer Nullstellung zu belassen und alle Einstellungen und Messungen nur noch *mit Hülfe der Schraube M und der Theilung a* vorzunehmen.

Das *Verfahren bei der Messung* ist das gleiche wie bei dem stereoskopischen Entfernungsmesser: Man bringt die Marke über oder neben das zu messende Objekt und regulirt die Stellung der Schraube *M* (bezw. *m*) so, *dass die Marke in der gleichen scheinbaren Entfernung mit dem Objekt gesehen wird.* Bemerkenswerther Weise hat die mikrometrische Verschiebung der Platte P_2 mittels *M* genau den gleichen physiologischen Effekt, wie die mikrometrische Verschiebung der Marke mittels *m*. In beiden Fällen ist es die Marke, welche ihren Ort nach der Tiefe zu dem scheinbar feststehenden Raumbild der Landschaft verändert. Ueber die Genauigkeit der Messung und die Art der Berechnung der Messungsresultate siehe weiter unten.

(Fortsetzung folgt.)

Ueber das Höhendiagramm bei der halbtrigonometrischen Höhenaufnahme und bei der Messtisch-Tachymetrie.

Von

Prof. Dr. E. Hammer in Stuttgart.

Zur Ausrechnung der Höhenunterschiede

$$h = e \cdot \mathrm{tg}\, \alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

bei der trigonometrischen Kleinhöhenmessung (wobei *e* die horizontale Entfernung bedeutet, nicht grösser als 500 *m*, schon wegen der Verständigung zwischen Instrument und Latten- oder Stabträger, sodass bei Rechnung auf etwa $^1/_2$ *dm* oder 1 *dm* in *h* Erdkrümmung und Refraktion nicht in Betracht kommt; α ist der gemessene Höhenwinkel) bedient man sich bekanntlich statt der Zahlentafeln oder besonders eingerichteter Rechenschieber, statt eines Abakus oder sonstiger rein graphischer Ablesetafel mit Vortheil eines *graphisch-mechanischen* Verfahrens für den Fall, dass die Horizontaldistanz *e* als *Zirkelöffnung* auf dem Plan gegeben ist oder mit dem *Zirkel* nach $e = E \cdot \cos^2 \alpha$ aus E gerechnet ist und beim Auftragen des Plans gleich auf dem Feld gebraucht wird. Von diesen zwei Fällen liegt der erste vor in dem sog. *halbtrigonometrischen Flächennivellement* auf Grund eines gegebenen Lageplans (vgl. darüber Hammer, *Zeitschr. f. Vermess.* ***19.*** *S. 642. 1890*, ferner *ebenda* ***26.*** *S. 202. 1897*; endlich auch das Vorwort meiner „Tafeln zur Berechnung des Höhenunterschieds u. s. w.“ Stuttgart 1895. *S. III bis VII*) und der zweite bei der Messtisch-Tachymetrie.

Das bei diesen beiden Arten des Flächennivellements benutzte Höhendiagramm hatte bisher stets die Form der Fig. 1[1]); es ist dabei 10-fache Ueberhöhung angewandt,

[1]) Hier auf etwa $^1/_3$ bis $^1/_4$ der in Wirklichkeit zu benutzenden Grösse verkleinert.

d. h. man erhält die Höhen im Maassstab $1 : M/10$, wenn $1 : M$ der Längenmaassstab des Plans ist, dem die e entnommen werden oder in dem sie aufgetragen werden sollen; der mit α zu beziffernde Strahl (Fig. 2) ist so zu ziehen, dass

$$\mathrm{tg}\,\delta = 10 \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \qquad 2)$$

ist. Der Gebrauch des Diagramms ist der, dass man auf der Nulllinie vom Ursprung aus mit dem Zirkel e einlegt (Fig. 2) und vom Endpunkt aus den Zirkel parallel zu dem gezogenen System von Parallellinien hineinstellt und bis zum Strahl α durch Interpolation öffnet. Mit dem Maassstab $1 : M$ des Plans hat dieses Diagramm nichts zu thun, es ist für alle M dasselbe.

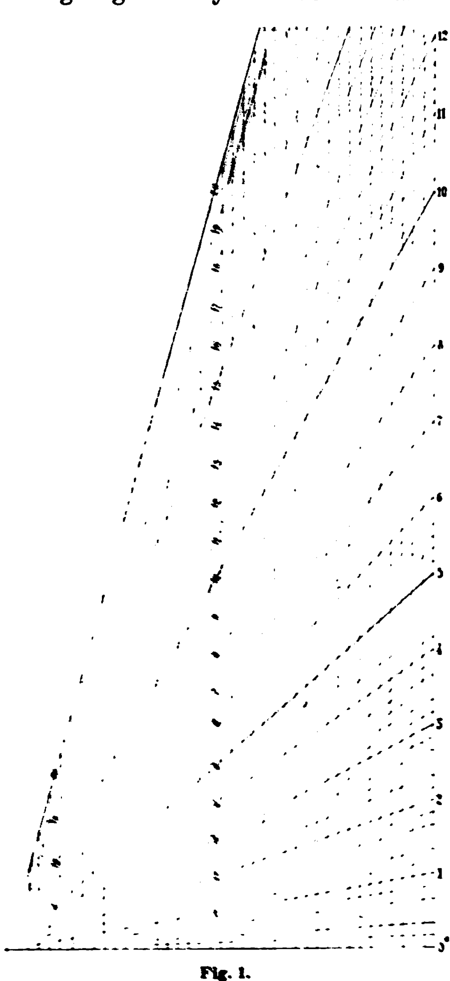


Fig. 1.

Vielfach hat man sich, statt 10-fache Ueberhöhung anzuwenden, auch mit 5-facher Ueberhöhung begnügt, die δ nach

$$\mathrm{tg}\,\delta = 5 \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \qquad 3)$$

berechnet, sodass also für einen Plan im Maassstab $1 : M$ die h in $1 : M/5$ erhalten werden; ist z. B., wie auf den württembergischen Flurplänen, $M = 2500$, so giebt ein nach 2) eingerichtetes Diagramm die Höhendifferenzen als Zirkelöffnungen in $1 : 250$, nach 3) in $1 : 500$, was zur bequemen Schätzung von 0,1 *m* in den H (man rechnet hier stets sogleich mit dem *Zirkel* weiter auch die H aus, statt h an der einfachen Längenskale in $1 : M/10$ oder $1 : M/5$ abzulesen) noch ganz wohl ausreicht. Die Verringerung der Ueberhöhung hat scheinbar eine Einbusse an Genauigkeit zur Folge; doch trifft dies nur für *kleine* Höhenwinkel zu, während für grössere, schon von 5° an, der Nachtheil mehr als aufgewogen wird dadurch, dass man in dem nach 2) gezeichneten Diagramm mit eng sich folgenden und steil liegenden Strahlen viel weniger sicher und weniger rasch interpoliren kann als in dem Diagramm 3).

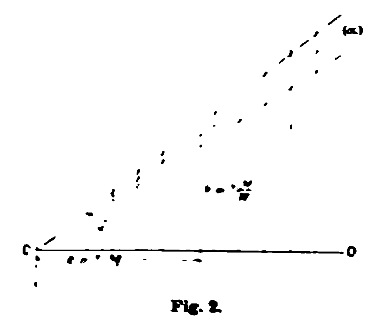


Fig. 2.

Bleiben wir jedoch zunächst bei 2) und Fig. 1 als dem am meisten Ueblichen, so mag vor Allem eine Zusammenstellung einiger Werthe von α, δ, ferner der Schnittwinkel der Strahlen mit dem Parallelensystem, endlich von

$$\Delta\,\mathrm{tg}\,\delta = \frac{10}{\cos^2\alpha} \cdot \Delta\alpha \qquad 4)$$

und von

$$\Delta\delta = \frac{10\cos^2\delta}{\cos^2\alpha} \cdot \Delta\alpha \qquad 5)$$

angegeben werden.

Tabelle 1.

α	δ	Schnittwinkel mit den Parallelen auf 1°	Für $d\alpha = 1'$ ist	
			$d \operatorname{tg} \delta$	$d\delta$
0°	0° 0′	90°	0,00291	10,0′
1°	9° 54,1′	80°	0,00291	9,7′
2°	19° 15,0′	71°	0,00292	9,0′
5°	41° 10,9′	49°	0,00293	5,7′
10°	60° 26,5′	30°	0,00300	2,5′
15°	69° 32,0′	20°	0,00312	1,3′
20°	74° 38,2′	15°	0,00321	$0{,}8_0'$
25°	77° 53,3′	12°	0,00353	$0{,}5_4'$
30°	80° 10,4′	10°	0,00388	$0{,}4_0'$

Während also bei 10-facher Ueberhöhung $d \operatorname{tg} \delta$ für $d\alpha = 1'$ von $\alpha = 0^0$ mit $d \operatorname{tg} \delta = 0{,}00291$, d. h. nicht merklich verschieden von arc 10′, allmählich etwas zunimmt, um aber bei 30° erst aufs $^4/_3$-fache anzuwachsen, sinkt $d\delta$ für 1′ von $\alpha = 0^0$ an von 10,0′ schon bei $\alpha = 6^0$ auf die Hälfte, bei 10° auf ein Viertel, bei 18° auf ein Zehntel herab. Diese Zahlen zusammen mit dem Anblick von Fig. 1 zeigen die Schwierigkeit rascher und scharfer Interpolation bei grossen Höhenwinkeln. Wenn man nun aber bedenkt, dass ein Fehler von 1′ beim Höhenwinkel $\alpha = 10^0$ für die durch den Winkel bestimmte Höhe kaum schlimmer ist als beim Höhenwinkel $\alpha = 0^0$ (Verhältniss 30 : 29), während es viel schwieriger ist, im Diagramm in der Nähe von 10° als bei 0° eine gewisse verlangte Genauigkeit des Abstechens von h zu erreichen, selbst bei langsamer Arbeit, so ist der Wunsch nach Abänderung des Diagramms berechtigt.

Man kann besonders auf *zwei* Arten diese Abänderung versuchen:

1. Entweder kann man das Parallelensystem, das die Richtung des abzustechenden h angiebt, statt es *senkrecht* zur Nulllinie des Diagramms zu stellen, einen andern Winkel mit der Nulllinie einschliessen lassen, es gleichsam gegen den Nullpunkt hin neigen. Dies ist meines Wissens bisher nicht geschehen und es wird deshalb gerechtfertigt sein, zu untersuchen, was auf diesem Weg zu erreichen ist.

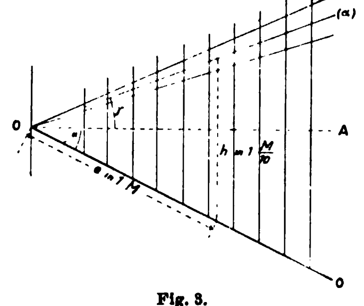


Fig. 3.

Ist (Fig. 3) $AOO = \mu$ der konstante Winkel dieser Rückneigung und γ der Winkel, den der mit α zu beziffernde Strahl mit der in Fig. 1 benutzten, hier aber zu Gunsten von OO verlassenen Nulllinie OA macht, so ist, da die auf OO anzulegende Entfernung gleich 1 genommen werden kann, der Winkel γ bei abermals 10-facher Ueberhöhung zu bestimmen aus

$$\sin(\mu + \gamma) = 10 \cos\gamma \cdot \operatorname{tg}\alpha \qquad 6)$$

oder

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{10 \operatorname{tg}\alpha}{\cos\mu} - \operatorname{tg}\mu \qquad 7)$$

Zum *Auftragen* der Strahlen (α) braucht man, nachdem μ gewählt ist, die γ nicht auszurechnen, da man auf dem Parallelensystem einfach die 10-fach vergrösserten Tangenswerthe von α aufzutragen hat, doch giebt Gl. 7) Rechenschaft darüber, welchen Vortheil die Anwendung des Winkels μ gegen Fig. 1 allenfalls gewährt in Beziehung auf die Interpolation, indem man noch berechnet

$$dtg\,\gamma = \frac{10}{\cos\mu\cdot\cos^2\alpha}\cdot d\alpha \quad . \quad . \quad . \quad 8)$$

oder wieder

$$d\gamma = \frac{10\cos^2\gamma}{\cos\mu\cdot\cos^2\alpha}\cdot d\alpha \quad . \quad . \quad . \quad 9)$$

z. B. wieder für $d\alpha = 1'$. Nebenbei bemerkt, ergiebt sich aus Gl. 7) auch sofort der Winkel α_0, für den $\gamma = 0$ wird, d. h. dessen Strahl in OA fällt, nach $\operatorname{tg}\alpha_0 = {}^1/_{10}\sin\mu$; doch hat dieser Winkel kein besondres Interesse.

Wählt man z. B., um ein von 0° bis 5° in α reichendes Diagramm zu konstruiren, $\mu = 15^0$ (womit $\alpha_0 = 1^0\,29'$ wird), so findet man für $\alpha = 1^0, 2^0, 5^0$ die folgenden Zahlen.

Tabelle 2.
α bis 5^0; $\mu = 15^0$.

α	γ	Schnittwinkel mit den Parallelen auf 1°	Für $d\alpha = 1'$ ist	
			$dtg\,\gamma$	$d\gamma$
0°	− 15° 0′	75°	0,00301	9,7′
1°	− 4° 59′	85°	0,00301	10,3′
2°	+ 5° 20,7′	85°	0,00302	10,3′
5°	+ 32° 32′	57°	0,00303	7,4′



Fig. 4 (etwa $^1/_3$ d. wirkl. Gr.).

Wenn man bedenkt, dass bis zu Beträgen von etwa 75° (von 90° aus gerechnet) der Schnittwinkel zwischen dem α-Strahl und den Parallelen ziemlich gleichgültig ist, dass seine Grösse dagegen sehr in Betracht kommt, wenn er auf 60° oder gar 50° gesunken ist, so zeigt der Vergleich dieser Tab. 2 mit Tab. 1 (bis $\alpha = 5^0$), dass dieses Diagramm mit $\mu = 15^0$ bis zu $\alpha = 5^0$ (besonders zwischen 4° und 5°) bequemer und schärfer für die Interpolation ist, als Fig. 1 mit $\mu = 0$. Zu bemerken ist noch, dass in Tab. 2, bei ziemlich konstantem $d\operatorname{tg}\gamma$ (kaum verschieden von $d\operatorname{tg}\delta$ in Tab. 1 bis zu $\alpha = 5^0$), das Verhältniss von max $d\gamma$ (in der Nähe des Strahls $\alpha_0 = 1^1/_2{}^0$) zu min $d\gamma$ (bis $\alpha = 5^0$) nur etwa $1^1/_2:1$ beträgt, während bei Tab. 1 dieses Verhältniss zwischen 0° und 5° fast den Werth 2 erreicht. Der Winkel zwischen Anfangs- und Endstrahl (0° und 5°) ist bei Tab. 2 $47^1/_2{}^0$ gegen 41° bei Tab. 1.

Für *grössere* Höhenwinkel α, z. B. von $\alpha = 5^0$ bis 15° oder 20°, wird sich aber auf diesem Weg nicht mehr besonders viel erreichen lassen; es seien deshalb nur noch die Zahlen für die Annahmen $\mu = 30^0$ und $\mu = 45^0$ mitgetheilt. Fig. 4 bildet die erste dieser Anordnungen ab; bei dieser wird $\alpha_0 = 2^0\,52'$, fällt also bereits weit ausserhalb der Strahlen des Diagramms, ebenso bei der zweiten Annahme.

Die der Tabelle 2 entsprechenden Zahlen für diese zwei Annahmen sind in Tab. 3 und 4 enthalten.

Tabelle 3.
α von 5^0 bis 15^0; $\mu = 30^0$.

α	γ	Schnittwinkel mit den Parallelen auf $^1/_2{}^0$	Für $d\alpha = 1'$ ist	
			$d \operatorname{tg} \gamma$	$d\gamma$
5^0	$23^0\ 24{,}4'$	$66^1/_2{}^0$	0,00338	9,8'
10^0	$55^0\ 34{,}1'$	$34^1/_2{}^0$	0,00346	3,8'
15^0	$68^0\ 19{,}7'$	$21^1/_2{}^0$	0,00360	1,7'

Tabelle 4.
α bis etwa 20^0; $\mu = 45^0$.

α	γ	Schnittwinkel mit den Parallelen auf $^1/_2{}^0$	Für $d\alpha = 1'$ ist	
			$d \operatorname{tg} \gamma$	$d\gamma$
5^0	$13^0\ 20{,}8'$	$76^1/_2{}^0$	0,00415	13,5'
10^0	$56^0\ 11{,}8'$	34^0	0,00424	4,5'
15^0	$70^0\ 16{,}6'$	$19^1/_2{}^0$	0,00441	1,7'
(20^0)	($76^0\ 26{,}6'$)	($13^1/_2{}^0$)	(0,00466)	(0,9')

Die Zahlen zeigen, wie schon angedeutet, dass diese beiden Annahmen, besonders die zweite, nicht mehr so viel leisten im Vergleich mit Fig. 1, wie die Annahme $\mu = 15^0$ für ihren Bereich; immerhin ist z. B. die Interpolation zwischen $\alpha = 5^0$ und 10^0 bei Fig. 4 bequemer als bei Fig. 1. Die Figuren mit $\mu = 45^0$ und mit $\mu = 60^0$ lasse ich hier weg, wie auch schon oben die Figur zu $\mu = 15^0$ (mit Ausdehnung bis $\alpha = 5^0$) mit Rücksicht auf den Raum weggelassen ist.

Zu erinnern ist nochmals daran, dass man die unbequem grosse Neigung der Diagrammstrahlen, d. h. die sehr schiefen Winkel zwischen ihnen und dem Parallelensystem, am besten durch Beschränkung auf 5-malige statt 10-maliger Ueberhöhung verringert.

Sogar daran wird zu denken sein, dass man als Tangens-Ueberhöhung nur $2^1/_2$-fache nimmt und dafür, um die h doch im Maassstab $1:M/5$ statt $1:M/2{,}5$ zu erhalten, die e aus dem Plan verdoppelt aufträgt, sei es, dass man rasch die Zirkelöffnung zweimal auf der Nulllinie anlegt oder einen sog. Reduktions- (in diesem Fall Vergrösserungs-) Zirkel für das Verhältniss $2:1$ benutzt. Wo *grosse* Höhenunterschiede vorkommen, muss man sich ohnehin jedenfalls mit dem Maassstab $1:M/5$ der Höhen begnügen, da die Strecken in $1:M/10$ sonst zu lang werden; und die Arbeit mit einem Stangenzirkel ist an sich viel unbequemer als die mit dem Handzirkel, wenn dessen Schenkel auch zweckmässig länger sind als die des gewöhnlichen Reisszeugzirkels; es genügt aber hier jedenfalls eine Hand zum Gebrauch, während man dort beide nothwendig hat. Allerdings ist als Vortheil des Stangenzirkels wieder der zu nennen, dass man leichter beurtheilt, ob das abgegriffene h genügend dem Parallelensystem entspricht, sodass man sein ganzes Augenmerk auf die Interpolation selbst richten kann.

2. Eine ganz andere Art der Ersetzung des gewöhnlichen Diagramms Fig. 1 oder seiner in 1. angegebenen Modifikationen ist aber noch zu erwähnen. Es ist überhaupt bequemer, das Diagramm nach folgender Ueberlegung einzurichten (die z. B. auch schon von Jordan zu einem Diagramm für $h = D \cdot {}^1/_2 \sin 2\alpha$ bei der Theodolit-Tachymetrie benutzt wurde, vgl. „Handbuch der Vermessungskunde". 2. Bd. 5. Aufl. 1897. *S. 670/671*, und die der Bevorzugung der Sinus-Methoden entspricht, die z. B. Culmann auch gern angewandt hat): man reicht mit einem einfachen Strahlendiagramm, statt des Liniengewirrs der Strahlen und Parallelen bei Fig. 1 und 4, aus, wenn man die Horizontaldistanz e als Hypotenuse, nicht als Kathete, in einem rechtwinkligen Dreieck ansieht, dessen eine Kathete dann h geben soll (vgl. Fig. 5), d. h. man hat

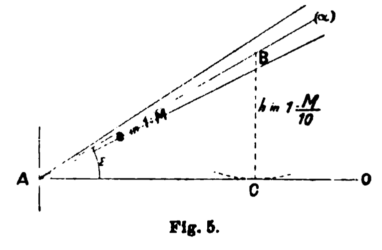


Fig. 5.

AB so zu ziehen, dass, wenn $AB = e$ im Maassstab $1:M$ gemacht wird und von B aus mit der Zirkelspitze der die Grundlinie AO berührende Kreisbogen gerissen wird,

$BC = AB \cdot \sin \varepsilon = 10\,e \cdot \mathrm{tg}\,\alpha$ wird. Der Winkel ε für den mit α zu beziffernden Strahl ist demnach zu berechnen aus

$$\sin \varepsilon = 10 \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \quad \text{. . . . .} \quad 10)$$

oder, wenn man sich wieder mit 5-maliger Vergrösserung der h gegen die e begnügen will, der Winkel ζ aus

$$\sin \zeta = 5 \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \quad \text{. . . . .} \quad 11)$$

Die Arbeit mit einem solchen Diagramm ist entschieden *genauer* und dabei mindestens nicht langsamer oder unbequemer als mit dem oben angegebenen Diagramm: man legt e vom Nullpunkt aus auf den Strahl α ein, wobei sehr scharf interpolirt werden kann, da es nur in *einer* Richtung geschehen muss, und schliesst die zweite Zirkelspitze durch einen kleinen Kreisbogen bis zum Nullstrahl; man hat damit h in $1:M/10$ oder $M/5$ im Zirkel und zwar leicht bis auf 0,1 *mm* natürliches Maass.

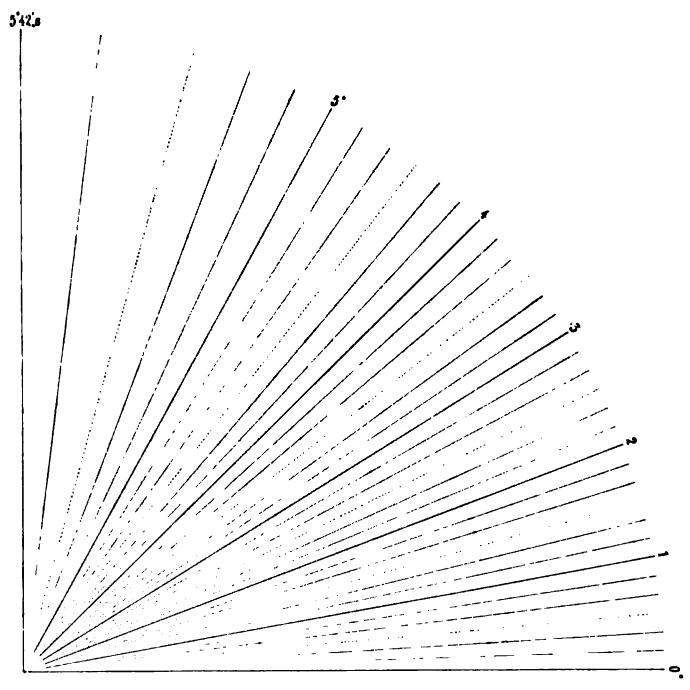


Fig. 6.

Die zwei Diagramme nach Gl. 10) und Gl. 11) sind in den Fig. 6 und 7 gegeben. Zum Auftragen der ε oder ζ benutzt man am besten nicht deren tg, wie es gewöhnlich empfohlen wird, sondern, wie immer, wenn ein im Gradmaass gegebener Winkel aufzutragen ist, deren chord; die Zahlen für die Winkel ε oder ζ von 10 zu 10′ will ich hier mit Rücksicht auf den Raum nicht mittheilen.

Der Anblick der Gleichungen 10) und 11) zeigt, dass der Bereich der Höhenwinkel bei 10-facher und selbst bei nur 5-facher Vergrösserung der Höhen nicht gross ist: er geht im ersten Fall bis $\alpha_0 = 5^0\,42{,}6'$ ($\sin \varepsilon_0 = \sin 90^0 = 1$ für $\mathrm{tg}\,\alpha_0 = {}^1/_{10}$), im zweiten bis $\alpha_0 = 11^0\,18{,}6'$ ($\sin \zeta_0 = 1$ für $\mathrm{tg}\,\alpha_0 = {}^1/_5$). Vielfach reicht dies aber auch aus. Wenn grössere Höhenwinkel vorkommen, so hat es bei der Leichtigkeit, mit der hier scharfes Abstechen auf 0,1 *mm* möglich ist (was bei den Diagrammen Fig. 1, 4, 5, 6 bei *grossen* Höhenwinkeln nicht zu erreichen ist), keinen Anstand, selbst nur $2^1/_2$-fache Vergrösserung für die Höhen anzuwenden (also z. B. h in 1:1000, wenn e in 1:2500), wodurch der Bereich des Diagramms bis auf α_0 aus $\mathrm{tg}\,\alpha_0 = {}^2/_5$, d. h. bis $\alpha_{max} = 21^0\,48'$ erhöht würde, was im Allgemeinen jedenfalls ausreicht. Bei $M = 2500$

und $^2/_5\, M = 1000$ würden die Meterstriche der Höhenskale zur Ausrechnung der H durch eine Millimetertheilung gegeben sein, sodass Ablesung auf 0,1 *m* in H noch möglich wäre; würde man diese Skale trotzdem zu eng finden, so könnte man wieder auf dem am Schluss von 1. angegebenen Weg zur doppelt so grossen Höhenskale kommen, während doch das Diagramm nur $2^1/_2$-fache Vergrösserung der h voraussetzte, also bis gegen 22° ausgedehnt werden kann: rasches zweimaliges Auftragen des Zirkel-e auf dem Strahl a, wobei beim ersten Abstechen nur ganz roh auf den Strahl a zu achten ist und also kein Zeitverlust entsteht, oder Vergrösserung der e aufs Doppelte mit dem auf 2 : 1 gestellten Vergrösserungszirkel.

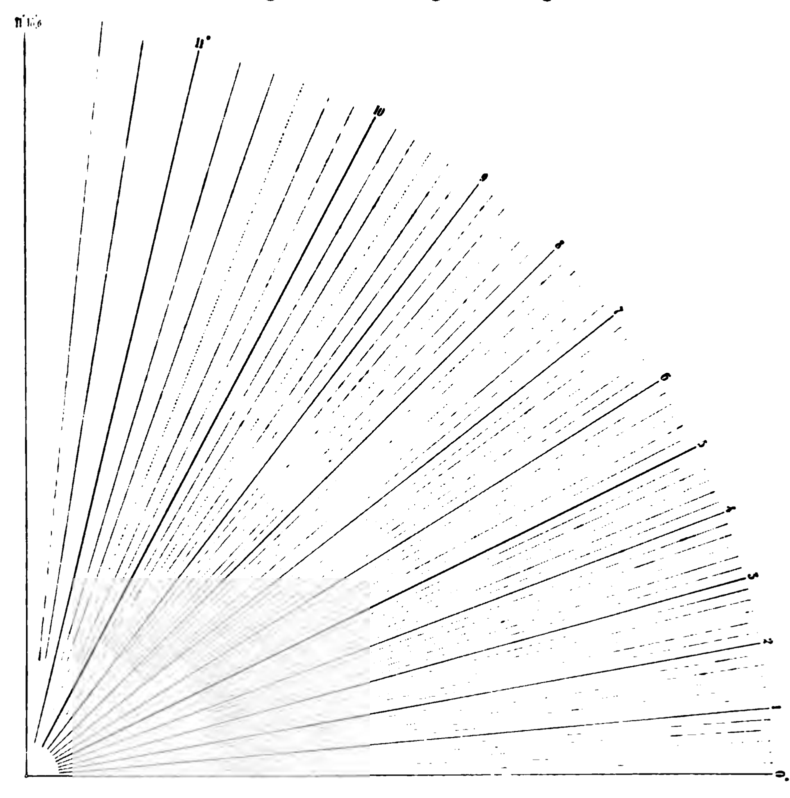


Fig. 7.

Es ist nicht ohne Interesse, auch die $d\varepsilon$ und $d\zeta$ nach Gl. 10) und Gl. 11) zu übersehen, zum Vergleich mit den $d\,\mathrm{tg}\,\delta$ und $d\delta$ in Tabelle 1. Für die hier abgebildeten Fälle 10- und 5-facher Vergrösserung der Höhen wird

$$d\varepsilon = \frac{10}{\cos^2\alpha \cdot \cos\varepsilon}\, d\alpha \qquad d\zeta = \frac{5}{\cos^2\alpha \cdot \cos\zeta}\, d\alpha \quad \ldots\ldots \quad 12)$$

Man erhält damit für $d\alpha = 1'$ und einige Werthe von α die hier angegebenen Zahlen.

Tabelle 5.

α	(ε)	$d\varepsilon$ für $d\alpha = 1'$
0°	0° 0′	10,0′
1°	10° 3,2′	10,2′
2°	20° 26,3′	10,7′
5°	61° 1,9′	20,8′
5° 42,6′	90° 0′	∞

α	(ζ)	$d\zeta$ für $d\alpha = 1'$
0°	0° 0′	5,0′
1°	5° 0,4′	5,0′
2°	10° 3,3′	5,1′
5°	25° 56,5′	5,6′
10°	61° 50,4′	10,9′
11°	76° 23,0′	22,0′
11° 18,6′	90° 0′	∞

Was die *Genauigkeit* der Arbeit angeht, so ist bereits angedeutet, dass die nach 2. eingerichteten Diagramme, wenn ihre Theilung weit genug getrieben wird, im Vortheil vor Fig. 1 und den in 1. erwähnten sind und dabei an Bequemlichkeit gegen diese nicht zurückstehen.

Spektralvorrichtung am Mikrophotometer.

Von

Dr. **Joh. Koenigsberger** in Freiburg i. B.

In *dieser Zeitschr. 21. S. 129. 1901* hat der Verf. ein Mikrophotometer zur Messung der Absorption und Reflexion an kleinen Platten beschrieben, welches wie das von H. Wild für die Photometrie grosser Flächen konstruirte die Savart'schen Streifen als photometrisches Kriterium benutzt. Bei dem Mikrophotometer musste, wenn nicht in weissem oder monochromatischem Lichte gearbeitet werden sollte, zur Zerlegung des Lichtes ein besonderer Spektralapparat verwandt werden. Dieser verursachte schon wegen der erforderlichen Depolarisation des aus dem Spektralapparate kommenden, theilweise polarisirten Lichtes einen grossen Lichtverlust, erforderte also stärkere Lichtquellen und erschwerte wegen der umständlichen Aufstellung das Arbeiten. Diesen Uebelständen ist jetzt durch Anwendung einer einschiebbaren[1]), einem Okularspektroskop ähnlichen Vorrichtung, bei der aber kein Lichtverlust durch einen zweiten Spalt verursacht wird, abgeholfen. Die Fehler, die sonst bei der Vereinigung von Photometer und Spektralapparat auftreten, sind hier vermieden, da die Vorrichtung hinter dem Analysator angebracht wird und deshalb in den Strahlengang erst eintritt, nachdem die Interferenz zu Stande gekommen ist. Weder Doppelbrechung noch Pleochroismus der Spektraleinrichtung können einen Fehler verursachen[2]). Die Anordnung ist folgende.

Zwischen Analysator und Fernrohr wird ein Rohr mit kleinem geradsichtigen Prisma, dessen Endflächen unter annähernd 45° gegen die Mikroskopachse geneigt sind, eingeschoben. An diesem Rohr ist senkrecht dazu seitlich ein anderes angelöthet, in dem sich eine Linse und in deren Brennweite (3 *cm*) eine Glasskale befindet. Wird Letztere beleuchtet, so sieht man Skale und Spektrum gleichzeitig. In bekannter Weise wird mit Na-, Tl-, Li-Licht und den Quecksilberlinien die Dispersionskurve ermittelt. Da aber die beiden Oeffnungen eine wirkliche Breite von 3 *mm* und im Spektrum (Gelbgrün) eine scheinbare von etwa 50 $\mu\mu$ haben, so wird für feinere Messungen vor die Oeffnungen ein Blech mit zwei Spalten geschoben. Der eine Spalt hat eine Breite von 1,1 *mm*, und die Oeffnungen nehmen dann im Gelbgrün eine Breite von 25 $\mu\mu$ ein, der andere ist 0,7 *mm* und im Spektrum 17 $\mu\mu$ breit. Im Okular des Fernrohrs befindet sich ein Okularspalt, — der Verf. benutzt Blenden aus dünnem geschwärzten Aluminiumblech — durch den ein Theil des Spektrums, der gerade so breit ist wie die Oeffnungen im homogenen Licht, ausgeblendet wird. Die Savart'sche Platte muss so gedreht werden, dass die Streifen genau senkrecht zur brechenden Kante des Prismas stehen; nur dann erscheinen sie scharf und verschwinden vollständig bei gleicher Helligkeit der Oeffnungen. Das Kalkspathrhomboeder muss eventuell auch zentrirt werden, bis völliges Verschwinden der Streifen stattfindet.

[1]) Das Rohr kann mit einem Griff entfernt werden, und der Apparat ist dann wieder für Beobachtung im weissen oder homogenen Licht verwendbar.

[2]) Experimentell wurde dies durch Zwischenschalten einer Rauchquarzplatte vor dem Prisma geprüft und durch die Unveränderlichkeit des Nullpunkts bestätigt.

Die Helligkeit dieser Anordnung ist recht gross, ein gewöhnlicher Auer-Brenner erlaubt von $\lambda = 0{,}690$ bis $\lambda = 0{,}430$[1]) zu messen. Soll bei starker Aenderung der Absorption mit der Wellenlänge für kontinuirlich im ganzen Spektrum verlaufende Messungen noch stärkere Dispersion verwandt werden, so wird zwischen Analysator und Prisma ein Rohr mit zwei achromatischen Linsen eingeschoben. Diese sind um die Summe ihrer Brennweiten von einander entfernt. Die eine Linse von 3,5 *cm* Brennweite entwirft ein reelles verkleinertes Bild beider Spaltöffnungen, die andere mit einer Brennweite von 7,5 *cm* und einem Durchmesser von 1,5 *cm* dient als Kollimatorlinse. Hierdurch wird erreicht, dass der Spalt einen kleineren Raum, etwa die Hälfte des anfänglichen, im Spektrum einnimmt (im Grün 8 $\mu\mu$), ohne dass die Helligkeit merklich geringer wird. Die nutzbare Dispersion ist dadurch auf das Doppelte gestiegen. Die Genauigkeit der photometrischen Messung ist nur wenig geringer, wohl deshalb, weil die Zahl der Interferenzstreifen die gleiche geblieben und lediglich die Ausdehnung derselben etwas vermindert ist.

Will man im Spektrum mit Kontrast photometriren, so muss die eine Deckglasplatte (vgl. *a. a. O. S. 130*) von der einen Oeffnung entfernt werden, andernfalls können beide Deckgläser ihre Lage beibehalten. Der Kontrast besteht dann zwischen oberer und unterer Hälfte des Gesichtsfeldes, während er ohne spektrale Zerlegung zwischen rechter und linker Hälfte zu Stande kommt, was etwas günstiger ist. Der mittlere Fehler *einer* Messung ist im ersteren Falle für gelbes und grünes Licht etwa 0,20 %, im zweiten, z. B. bei Anwendung von Na-Licht, 0,15 %, während er ohne Kontrast im Spektrum (gelb und grün) etwa 0,25 % beträgt.

Da zahlreiche Photometerkonstruktionen und Spektrophotometer vorhanden sind, ist es vielleicht nicht unnütz, hervorzuheben, in wie weit das hier beschriebene den andern gleicht und sich von ihnen unterscheidet. Wie die Photometer von Zöllner, Vierordt, Glan, Hüfner, A. König dient dies Photometer zur Messung der Absorption in kleinen Schichten und mit Anwendung einer Projektionslinse zur Bestimmung der Reflexion an solchen[2]). Dagegen ist es zur Bestimmung der Helligkeit von Flammen oder grösseren Flächen nicht brauchbar. Für Untersuchungen dieser werden bekanntlich die Photometer von Bunsen, Jolly, Wild, Lummer-Brodhun und Anderen verwandt. Die systematischen Fehler, die sich bei den zuerst erwähnten Spektrophotometern zeigten, sind bei dem oben beschriebenen durch das Okularspektroskop vermieden. Die Empfindlichkeit in weissem oder homogenem Licht ist, wie ich glaube, etwa 2- bis 3-mal, in dem spektral zerlegten etwa $1^1/_2$- bis 2-mal so gross wie bei dem Photometer von A. König und wird vielleicht nur von zwei Flächenphotometern, dem von Wild, das ebenfalls eine Savart'sche Platte, aber ohne Kontrast, als Kriterium benutzt, und dem Kontrastphotometer von Lummer und Brodhun erreicht. Die ungleichmässige Absorption einer Schicht wird sofort wahrgenommen, da Schicht und Streifen gleichzeitig deutlich erscheinen. Als sehr nützlich für viele Zwecke erweist sich auch die Möglichkeit, die spektrale Beleuchtung durch monochromatisches Licht zu ersetzen, was bei den andern Spektrophotometern ausgeschlossen ist. Mit Na- oder Li-Licht oder den Linien des Quecksilberbogens können alsdann sehr genaue Messungen, deren Fehler sicher nicht grösser als $\pm$ 0,1 % ist, ausgeführt werden.

---

[1]) Es sind Versuche im Gange, auch im äussersten Violett und Ultraviolett mit *einer* photographischen Aufnahme zu photometriren, ohne Voraussetzungen über den Zusammenhang zwischen Lichtstärke und photographischer Wirkung zu machen.

[2]) Der Verf. benutzt hierfür eine Anordnung, die ähnlich der von F. Paschen (*Ann. d. Physik* **4.** *S. 304. 1901*) für bolometrische Messung der Reflexion angegebenen Aufstellung ist.

Referate.

Vorschlag zu einem neuen Tachymeter.

Von W. Láska. *Zeitschr. f. Vermess.* **29.** *S. 244. 1900.*

Der Verfasser setzt als Instrument bei seinem neuen Tachymeter (wohl besser Telemeter) einen Theodolit mit exzentrischem Fernrohr voraus, der mit Okularmikrometer versehen ist und bei dem sich die Kippachse mit Fernrohr auf den Stützen umlegen lässt. Bei festgeklemmtem Limbus weiche in Fernrohrlage I die Richtung nach einem entfernten Punkt C im Azimut um α'' von der Richtung über den vertikalen Mittelfaden des Fernrohrs nach rechts ab, in Fernrohrlage II aber weiche die Zielung nach C um β'' von dieser Richtung nach links ab. Ist dann b gleich der doppelten Entfernung zwischen Fernrohrziellinie und vertikaler Umdrehungsachse des Theodolits, d. h. also der Abstand der zwei Lagen der Fernrohrziellinie, und ist der Kollimationsfehler des Vertikalfadens gleich Null, endlich D die zu bestimmende Entfernung bis zum Punkt C, so ist, wenn wegen der Kleinheit von α und β statt ihrer Tangente der Bogen genommen wird,

$$b = D\,(\text{arc}\,\alpha + \text{arc}\,\beta) \qquad \text{oder} \qquad D = \frac{b \cdot \varrho''}{(\alpha + \beta)''} = \frac{b \cdot \varrho''}{w''} \quad . \; . \; 1)$$

wenn $w = \alpha + \beta$ gesetzt wird und $\varrho'' = 206265$ ist. Der Verfasser sagt, dass w durch das Okularmikrometer sehr genau bestimmt und überdies bei verschieden angenommenem α, also nach einer Limbusverstellung, die allemal um eine beliebige Zahl von Sekunden verändert wird, beliebig oft wiederholt gemessen werden könne, nach

$$w'' = \alpha_1'' + \beta_1'' = \alpha_2'' + \beta_2'' = \dots$$

Dass man sich aus Versuchsmessungen eine Tafel für die D in Funktion von w anlegen würde, ist selbstverständlich. Eine etwa vorhandene Kollimation liesse sich leicht eliminiren. Für die Genauigkeit des Verfahrens spricht endlich nach dem Verfasser die Fehlergleichung

$$\frac{dD}{D} = \frac{db}{b} - \frac{dw}{w} \quad \dots\dots\dots\dots \; 2)$$

die sich aus 1) nach der Logarithmirung dieser Gleichung ergiebt.

Versuche mit einem fertigen Instrument scheinen nicht vorzuliegen. Dass die Genauigkeit der Distanzmessung auf diesem Weg nicht unbedeutend ist, ist nicht zweifelhaft. Immerhin scheinen mir zwei Hauptbedenken vorzuliegen: 1. Die Ausführung der Messung ist verhältnissmässig zeitraubend. Man braucht mindestens zwei oder besser vier (wegen Elimination des Kollimationsfehlers) oder mehr scharfe Einstellungen und Ablesungen am Mikrometer und zwischen je zwei solche Messungen hinein ist das Fernrohr sorgfältigst umzulegen; 2. es ist fraglich, ob dieses Umlegen der Achse die Stellung der Alhidade, auch bei sehr langsamem Verfahren und bei möglichst stabil (aber doch nur auf einem Holzstativ) aufgestelltem Instrument genügend unverändert lässt, da doch das Fernrohr aus der Fassung der Höhenmikrometerbewegung herausgehoben werden muss; bekanntlich ist z. B. beim gewöhnlichen Theodolit die Untersuchung des Kollimationsfehlers durch Umlegen aus dem angedeuteten Grund wenig genau und besser durch doppeltes Durchschlagen zu ersetzen. Weniger wichtig ist die Veränderlichkeit von $b/2$ beim Umlegen. *Hammer.*

Schichtensucher.

Von H. Haller. *Zeitschr. f. Vermess.* **30.** *S. 373. 1901.*

Dass das von mir angegebene Parallellineal (mit Querskale zur *Messung* der Parallelverschiebung ausgerüstet, vgl. *Zeitschr. f. Vermess.* **25.** *S. 616. 1896*) zur Ausführung der für das „Schichtensuchen“ (Name!) in Betracht kommenden Proportionalrechnung benutzt werden kann, wenn der Nullpunkt jener Skale in die obere Kante des Lineals verlegt wird, ist klar; das Instrumentchen stellt dann eine mechanische Ausführung des Wagner'schen Parallelendiagramms vor und wird hier unter dem Namen Interpolationstrapez vorgelegt. Ein zweites

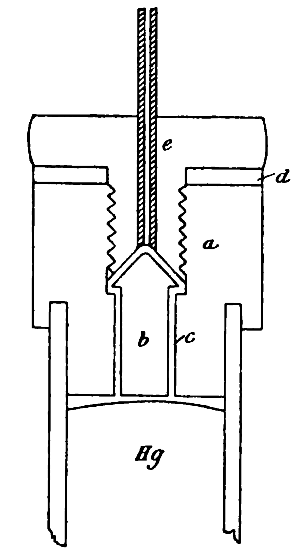
Instrumentchen, das „Interpolationsdreieck“, ist die mechanische Ausführung des sonst zusammen mit dem Zirkel u. Ae. vielfach benutzten „Strahlendiagramms“. Es ist nicht schwer zu sehen, dass das zuerst genannte Instrument im Gebrauch bequemer sein wird, während der Preisunterschied wenig bedeutend ist. Nebenbei sei bemerkt, dass der vom Oberingenieur Halter eingeschlagene Weg (der Verf. des hier angezeigten Aufsatzes führt das Halter-Starke'sche Instrument, das er aus der geodätischen Sammlung der Stuttgarter Technischen Hochschule kennt, in seiner Zusammenstellung *S. 373 u. 374* mit auf) doch recht verlockend ist; vielleicht liesse sich auf ähnliche Weise das einfachste Werkzeug dieser Art überhaupt herstellen. *Hammer.*

Studien über das Luftthermometer.

Von A. W. Kapp. *Ann. d. Physik* **5.** *S. 905. 1901.*

Die Studien sind an einem älteren Luftthermometer Jolly'scher Konstruktion angestellt, welches der Verf. zum Anschluss zweier Quecksilberthermometer in Temperaturen bis 400° benutzt hat. Weitaus die meisten der mitgetheilten Verbesserungen sind seit Jahren an den jetzt gebräuchlichen Gasthermometern, soweit sie nur für einigermaassen genaue Messungen verwendet werden, vorhanden, sodass die Arbeit in dieser Hinsicht nur wenig Neues bietet.

Die Einstellungsvorrichtung für das Quecksilber im kurzen Schenkel ist in Anlehnung an die von Chappuis benutzte Form konstruirt, besitzt aber ein Ventil, welches ein unbeabsichtigtes Hochsteigen des Quecksilbers in die Kapillare und das Gasgefäss verhindert. Der auf das Glasrohr des kurzen Schenkels aufgekittete eiserne Aufsatz *a* ist in der Mitte in der in der Figur angegebenen Weise durchbohrt, um das in die Schraube *e luftdicht* eingeschliffene Ventil *b* aufzunehmen, dessen vorspringender Ansatz an zwei gegenüberliegenden Seiten abgefeilt ist. Die Schraube *e*, in welche die zum Gasgefäss führende, messingne Kapillare oben eingekittet ist, verschliesst bei *d* durch eine Dichtung die Bohrung. Die Wirkungsweise des Ventils ist unmittelbar klar. Nach Angabe des Verf. soll diese Vorrichtung gut funktioniren. Der Ref. möchte aber auf die Fehlerquellen hinweisen, welche möglicherweise aus der bei dieser Konstruktion nothwendigen Dichtung *d* der Schraube, sowie durch Hängenbleiben von Quecksilber innerhalb des Ventils entstehen können.



Die übrigen Resultate der Studien des Verf. können hier übergangen werden, da sie, wie schon gesagt, nichts wesentlich Neues bieten. Um den schädlichen Raum möglichst zu verringern, benutzt der Verf. eine Kapillare von nur 0,25 *mm* lichter Weite, wodurch natürlich die Trägheit des Instruments stark gesteigert wird. Angaben über die Wahl und Herstellung des Messgases, über die Füllung des Thermometers, über die Konstanz der Fixpunkte, über die verwendeten Temperaturbäder und die erreichbare Konstanz derselben fehlen in der vorliegenden Arbeit, welche ein Auszug aus der Königsberger Inaugural-Dissertation des Verf. ist.

Uebrigens wird nicht mitgetheilt, weshalb der Verf. die umständliche Vergleichung der beiden erwähnten Quecksilberthermometer mit einem Gasthermometer zweiten Ranges der leicht zu beschaffenden Aichung durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt vorgezogen hat. *Rt.*

Ueber ein Petroläther-Thermometer.

Von L. Baudin. *Compt. rend.* **133.** *S. 1207. 1901.*

Der Verf. theilt kurz die Herstellung eines Petroläther-Thermometers mit, welches eine leichtere Füllung als die von Kohlrausch angegebene besitzt. Die Dichte des benutzten Petroläthers beträgt nämlich 0,647 bei + 15°; er soll auch in siedender Luft vollkommen

klar und dünnflüssig bleiben. Es gelang, die Gradtheilung des Thermometers durch die Siedepunkte des Methylchlorürs, des Stickoxyduls und des Sauerstoffs auszuführen.

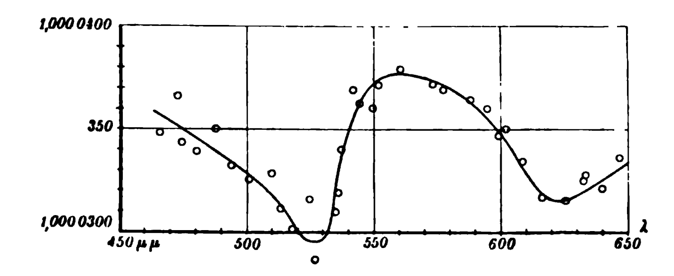
Damit wäre nach Ansicht des Ref. ein wesentlicher Fortschritt auf diesem Gebiete gewonnen; denn die noch jüngst von Holborn (*Ann. d. Physik* **6.** *S. 242. 1901*; vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 339. 1901*) untersuchten, mit grosser Sorgfalt hergestellten Thermometer waren so beschaffen, dass sich „eine ganz geringe Trübung der Kuppe bei — 190°“ nicht vermeiden liess. *Rt.*

Messung von Wellenlängen im Sonnenspektrum; Vergleich mit der Skale von Rowland.

Von A. Perot und Ch. Fabry. *Compt. rend.* **133.** *S. 153. 1901.*

Die Verf. haben nach der von ihnen ausgearbeiteten Methode (*diese Zeitschr.* **20.** *S. 339. 1900*) 33 Linien des Sonnenspektrums direkt mit der grünen Kadmiumstrahlung (Wellenlänge 508,58240 $\mu\mu$ nach Michelson) einer Michelson'schen Röhre verglichen. Die Resultate enthält die folgende Tabelle, in der unter λ_R die von Rowland angegebenen Wellenlängen und unter λ die von den Verf. gefundenen Werthe stehen.

λ_R	λ	$\frac{\lambda_R}{\lambda}$	λ_R	λ	$\frac{\lambda_R}{\lambda}$
464,3645	464,3483	1,0000349	549,7735	549,7536	1,0000362
470,5131	470,4960	1,0000363	550,7000	550,6794	1,0000374
473,6963	473,6800	1,0000344	558,6991	558,6778	1,0000381
478,3613	478,3449	1,0000340	571,5308	571,5095	1,0000373
485,9928	485,9758	1,0000350	576,3218	576,3004	1,0000371
492,4107	492,3943	1,0000333	586,2582	586,2368	1,0000365
500,2044	500,1881	1,0000326	593,4881	593,4666	1,0000362
509,0954	509,0787	1,0000328	598,7290	598,7081	1,0000349
512,3899	512,3739	1,0000312	601,6861	601,6650	1,0000351
517,1778	517,1622	1,0000302	606,5709	606,5506	1,0000335
524,7259	524,7063	1,0000316	615,1834	615,1639	1,0000317
524,7737	524,7587	1,0000286	623,0943	623,0746	1,0000316
534,0121	536,9956	1,0000309	632,2907	632,2700	1,0000327
534,5991	534,5820	1,0000320	633,5554	633,5346	1,0000328
536,7669	536,7485	1,0000343	640,8233	640,8027	1,0000321
541,0000	540,9800	1,0000370	647,1885	647,1666	1,0000338
543,4740	543,4544	1,0000361			

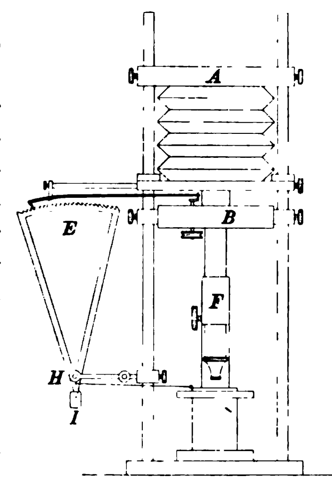


In vorstehender Figur sind die Wellenlängen als Abszissen und die Werthe für λ_R/λ als Ordinaten eingetragen. Die ziemlich regelmässig verlaufende Kurve lehrt, dass zwar die Verhältnisse der Wellenlängen zweier benachbarten Strahlen mit grosser Genauigkeit von Rowland gemessen worden, im Uebrigen aber seine Werthe mit merklichen, regelmässig verlaufenden Fehlern behaftet sind. *Schck.*

Untersuchung des Wachsthums der Krystalle mit Hülfe mikrophotographischer Momentaufnahmen.

Von Th. W. Richards und E. H. Archibald. *Phil. Mag.* **2.** *S. 488. 1901.*

Die Einrichtung ist aus der beigefügten Figur ersichtlich; zwischen Mikroskop F und Kamera A befindet sich in B ein Momentverschluss mit rotirendem Sektor, der von einem Henrici'schen Heissluftmotor getrieben wird. Bei jeder Umdrehung bewegt sich das Dreieck E um einen Zahn weiter, wobei durch den bei H befestigten Draht der Objektträger mit den Krystallen um ein kleines Stück weiterbewegt wird, das je nach dem Abstand des Punktes H von der Drehungsachse des Dreiecks 0,1 bis 0,02 *mm* beträgt. Die besten Aufnahmen wurden mit Sonnenlicht als Lichtquelle erhalten.



Es wurde zunächst mit Rücksicht auf ökonomische Ausnutzung der Platten versucht, helle Bilder auf dunklem Grunde zu photographiren. In reflektirtem Licht gaben die Krystalle keine guten Bilder, bessere wurden in polarisirtem Licht bei gekreuzten Nicols erhalten. Zuerst wurden Reihen von 10 Aufnahmen in 30-facher Vergrösserung bei $^1/_{50}$ Sekunde Expositionszeit gemacht, dann auch in 110-facher Vergrösserung bei $^1/_{15}$ Sekunde.

Dieses Verfahren wurde jedoch verlassen, da die Frage, ob die ersten Entwicklungsformen der Krystalle kugelig sind, damit nicht entschieden werden konnte. Es wurden nun dunkle Bilder auf hellem Grunde aufgenommen, dabei wurde nicht mehr der Objektträger, sondern das als Bildträger dienende Filmband bewegt. Es wurden stärkere Vergrösserungen bis zu 580 erzielt, wobei allerdings Expositionszeiten bis zu $^1/_8$ Sekunde nöthig waren.

Eine grössere Anzahl der gemachten Aufnahmen ist auf den der Abhandlung beigefügten Tafeln wiedergegeben. Es wurde gefunden, dass nicht der Durchmesser des Krystalles selbst, sondern eine höhere Potenz desselben proportional der Zeit wächst. Der Apparat soll demnächst zu Untersuchungen über die Strukturänderungen des Stahls bei hohen Temperaturen benutzt werden. *A. K.*

Einige Untersuchungen über Normalelemente.

Von H. Rupp. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 544. 1901.*

Die Untersuchungen des Verf. beziehen sich auf die elektromotorische Kraft, den inneren Widerstand, die Klemmenspannung und die Spannung nach Stromentnahme bei Clark- und Kadmium-Elementen. Durch Messungen an einem Fuess'schen Clark-Element Feussner'scher Form (mit Thonzelle) wird die schon früher mehrfach gefundene Thatsache bestätigt, dass die Spannung dieser Elemente bei grösseren Temperaturänderungen beträchtlich zurückbleiben kann und dass erst nach längerem Verweilen der Elemente auf einer konstanten Temperatur ein zuverlässiger Werth zu erwarten ist; diese Erscheinung ist einestheils auf den langsamen Temperaturausgleich in den Elementen dieser Form zurückzuführen, andererseits auf den Umstand, dass sich die der Temperatur entsprechende Konzentration der Zinksulfatlösung nur langsam herstellt, da die Löslichkeit von Zinksulfat mit der Temperatur sich stark ändert.

Ref. möchte hierzu aber bemerken, dass H-förmige Clark-Elemente, bei denen sich beide Pole stets auf gleicher Temperatur befinden, diese Erscheinung des Zurückbleibens der elektromotorischen Kraft in bedeutend geringerem Maasse zeigen, sodass dieselben schon bald nach der Temperaturänderung zu benutzen sind, falls nicht die im Element befindlichen Krystalle zu fest zusammenbacken.

Bei Kadmium-Elementen zeigt sich naturgemäss dieser Uebelstand nicht, da die elektro-

motorische Kraft derselben sich nur wenig mit der Temperatur verändert. Verf. untersuchte ein von der Reichsanstalt seiner Zeit hergestelltes Kadmiumelement (mit überschüssigen Krystallen von Kadmiumsulfat und mit Paste ausgefüllt), sowie einige Weston'sche Elemente (mit bei 4° gesättigter Kadmiumsulfatlösung); die letzteren sind fast ganz unveränderlich bei Temperaturschwankungen. Bei allen diesen Elementen ist kein Zurückbleiben der elektromotorischen Kraft zu bemerken.

Dieselben Clark- und Kadmium-Elemente wurden auf die Grösse des inneren Widerstandes und die Aenderung desselben mit der Temperatur und der Stromstärke untersucht. Die Messungen sind indessen nach einer nicht einwandsfreien Methode ausgeführt und Verf. selbst bezeichnet seine Zahlen nur als Annäherungen. Es ergeben sich bei dem von ihm benutzten Clark-Element starke Aenderungen des inneren Widerstandes, besonders nach längerer Stromentnahme. Fast gar keine Aenderungen zeigt dagegen das Weston-Element (mit verdünnter Lösung), während das Kadmium-Element der Reichsanstalt eine Abnahme des Widerstandes bei Stromentnahme aufwies.

Diese letztere Erscheinung kann Ref. nach seinen eigenen Erfahrungen bestätigen, möchte aber im Uebrigen bezüglich des inneren Widerstandes von Elementen auf eine Mittheilung von E. Cohen (*Zeitschr. f. phys. Chem.* **28.** *S. 723. 1899*) hinweisen, aus der hervorgeht, dass Elemente ohne feste Krystalle ihren inneren Widerstand nur in dem Maasse ändern, als es der Leitfähigkeit des in ihnen enthaltenen Elektrolyten entspricht, während bei Anwesenheit von Krystallen erstens der Widerstand überhaupt grösser sein muss und sich auch bei Temperaturschwankungen und bei Stromentnahme in ganz unregelmässiger Weise ändert. Die Grösse des inneren Widerstandes hängt auch wesentlich von der Anordnung des Elements ab (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 59. 1902*) und kann, wenn es erwünscht ist, durch Vergrösserung der Elektroden und grössere Annäherung derselben noch wesentlich kleiner gemacht werden, als bei den untersuchten Weston'schen Elementen.

Die Untersuchung des Abfalls der Klemmenspannung bei Stromentnahme von etwa 0,1 Milliampere ergiebt auch für die Weston'schen Elemente günstigere Resultate, als für das Clark-Element. Im Zusammenhang damit steht die Thatsache, dass nach längerer Stromentnahme sich die Kadmiumelemente rasch erholen, während dies bei den Clark-Elementen relativ lange Zeit dauert. Diese Erscheinung ist auch in der Reichsanstalt wiederholt beobachtet worden.

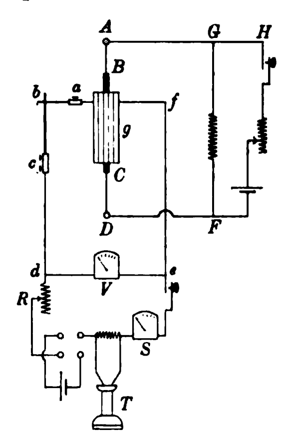
Verf. kommt zu dem Schluss, dass das Weston-Element auch eine mehrere Minuten dauernde Stromentnahme von 0,1 Milliampere ohne Schaden verträgt; doch zeigen die Weston-Elemente bei öfterem Gebrauch in dieser Weise eine deutliche Veränderung ihrer elektromotorischen Kraft, welche, wie Ref. vermuthet, auf eine Zunahme der Konzentration der bei gewöhnlicher Temperatur verdünnten Lösung dieser Elemente durch den Strom zurückzuführen ist; bei Elementen mit überschüssigen Krystallen würde eine solche Veränderung nicht auftreten können. Die Vermuthung des Verf., dass eine Veränderung des Kadmiumamalgams die Ursache sein sollte, ist nach den über dies Amalgam vorliegenden Untersuchungen unwahrscheinlich. *W. J.*

Untersuchung eines einfachen Kohärers.

Von P. E. Shaw. *Phil. Mag.* **1.** *S. 265. 1901.*

Um die bekannten Eigenschaften eines Kohärers erklären zu können, untersucht Shaw die Erscheinungen, die bei der Berührung zweier einfacher Drähte auftreten. Der zu diesem Zweck benutzte Apparat wird „Aphometer“ genannt und besteht im Wesentlichen aus einem d'Arsonval-Galvanometer mit der beweglichen Spule *BC* und den Zuführungsdrähten *AB* und *CD*. Die Galvanometerspule liegt im Nebenschluss zum Stromkreis *FGH*. Vollständig von diesem isolirt ist der sogenannte Kontaktstromkreis *abcdef*. Der Draht *ab* ist in horizontaler Lage durch eine Klemmschraube am beweglichen System befestigt und schlägt bei einer Drehung gegen den fest aufgestellten Draht *cb*. Ausserdem enthält der Kontaktkreis einen Kommutator, Regulirwiderstand *R* und Spannungsmesser *V* zur Messung der Spannung

an der Kontaktstelle *b*, ferner einen Strommesser *S* und ein Telephon *T*, mit welchem Stromöffnen und Stromschluss beobachtet werden kann. Man regulirt nun den Strom des Galvanometers so lange, bis der Draht bei *b* gerade berührt, danach verändert man den Widerstand weiter, bis der Kontakt gerade wieder aufgehoben wurde. Die Differenz der zugehörigen Ströme bildet ein Maass für die Kraft, mit der die beiden Drähte an einander haften. Besonders ist darauf zu achten, dass der Apparat vor Erschütterungen, Luftzug und Staub geschützt wird, sowie darauf, dass die Zuführung zum Drahte *a* im Kontaktkreis keine Störung hervorruft; sie erfolgt durch eine sehr feine Feder aus Phosphorbronze.



Eine scheinbare Kohärer-Wirkung kommt zu Stande, sobald die Luft Feuchtigkeit enthält und dadurch auf der Drahtoberfläche eine dünne Wasserhaut gebildet wird. Wird die Luft gut getrocknet und die Oberfläche der Drähte gut gereinigt, so sind die Widerstände des Galvanometerkreises für Stromschluss und Stromöffnung des stromlosen Kontaktkreises merklich dieselben.

Zum Studium der Kohärer-Wirkung wurde zunächst der Widerstand des Galvanometerkreises so regulirt, dass eben eine Berührung der Drähte bei *b* eintrat (w_1); dann liess man an einem in der Nähe stehenden Induktorium einen Funken übergehen; dadurch zeigten die Strom- und Spannungsmesser des Kontaktkreises Ausschläge, die notirt wurden. Danach wird der Widerstand des Galvanometerkreises wiederum so lange geändert, bis der Kontakt aufgehoben wird (w_2). Wiederholt man den ganzen Versuch unmittelbar darauf, jedoch mit der Abänderung, dass man am Induktorium keinen Funken übergehen lässt, so beobachtet man die gleichen Widerstände w_1 und w_2; im Kontaktkreis kommt jedoch auch ohne Wiederholung des Funkens sofort ein Strom zu Stande. Diese Kohärer-Wirkung verliert sich langsam bei öfterer Wiederholung des Versuchs. An der Kontaktstelle muss also beim ersten Funkenübergang eine gewisse Art von Polarisation entstehen, die sich erst mit der Zeit verliert; Shaw nennt diese Wirkung „Orientation“.

Die gesammte Wirkung an der Kontaktstelle hat man sich nach Ansicht des Verfassers so zu denken, dass zunächst beide Drähte von dünnen Gasschichten umgeben sind, die eine unmittelbare Berührung verhindern. Treffen elektrische Wellen auf die Kontaktstelle, so wird die Gasschicht durchbrochen und eine enge metallische Brücke hergestellt. Länge und Querschnitt der Brücke werden aus dem durch das Aphometer gemessenen Druck und dem Widerstand der Kontaktstelle berechnet. Von den zahlreichen Messungen, die hier im Einzelnen nicht wiedergegeben werden können, sei erwähnt, dass der Druck der Drähte auf einander von der Grössenordnung 1 Dyne ist; der Radius des Kontaktkreises hat die Grössenordnung 10^{-5} *cm*. *E. O.*

Neu erschienene Bücher.

A. Föppl, Vorlesungen über technische Mechanik. In 4 Bdn. gr. 8°. Leipzig, B. G. Teubner. II. Bd.: Graphische Statik. X, 452 S. m. 166 Fig. 1900. Geb. in Leinw. 10,00 M. — IV. Bd.: Dynamik. 2. Aufl. XV, 506 S. m. 69 Fig. 1901. Geb. in Leinw. 12,00 M.

Auf die beiden zuerst erschienenen Bände I und III der Vorlesungen über technische Mechanik (die bereits in *dieser Zeitschr.* **20.** *S. 127. 1900* besprochen sind), die Einführung in die Mechanik und die Festigkeitslehre, sind nun auch der II. und IV. Band gefolgt, womit das Werk zum Abschluss gekommen ist. Dass der I., III. und IV. Band bereits in zweiter Auflage vorliegen, ist ein Beweis dafür, wie sehr die Föppl'schen Vorlesungen Anklang gefunden haben.

Die zweite Auflage der Festigkeitslehre ist im Wesentlichen ungeändert geblieben, es sind einige Versehen der ersten Auflage berichtigt, und es ist noch auf neuere Arbeiten der letzten Jahre Bezug genommen worden.

Der II. Band der Vorlesungen behandelt die graphische Statik; er soll die Grundlage bieten für die besonderen Fachvorlesungen vorbehaltenen Ausführungen, die zur Theorie der Brücken oder in die theoretische Maschinenlehre gehören. Es wird zunächst die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte in der Ebene gegeben; die gewonnenen Ergebnisse dienen dazu, die Kräftepläne für Dachbinder und Fachwerkträger nach verschiedenen Methoden zu konstruiren. Sodann wird die Zusammensetzung von Kräften mittels des Seilpolygons gezeigt und mit dessen Hülfe unter Anderem die Konstruktion der Momentenfläche ausgeführt, die bei der Berechnung von Achsen, Trägern u. s. w. Anwendung findet. Nachdem die Kräfte im Raume behandelt sind, wird die Theorie, zuerst des ebenen Fachwerks mit den Methoden von Henneberg und Müller-Breslau, darauf die des Fachwerks im Raume, insbesondere der Kuppeln, entwickelt. Daran schliessen sich die Verfahren von Maxwell und Mohr, die elastische Formänderung des Fachwerks zu bestimmen. Das Schlusskapitel giebt die Theorie der Gewölbe und der kontinuirlichen Träger, nebst den zu letzteren gehörigen Clapeyron'schen Gleichungen.

Der IV. Band, die Dynamik, knüpft an den ersten an, den er zum Theil ergänzt. Er giebt die Dynamik des materiellen Punktes, des Punkthaufens und des starren Körpers, die Relativbewegung und die Dynamik zusammengesetzter Systeme. Wie schon früher, hat auch hier wieder die Vektorenrechnung vielfache Verwendung gefunden; manche Ableitungen sind durch sie bedeutend vereinfacht worden. Eine Reihe interessanter, der Praxis entnommener Beispiele belebt die Entwickelungen und trägt wesentlich zur Förderung des Verständnisses der entwickelten Sätze bei. Es sei besonders hingewiesen auf die Massenausgleichung bei Schiffsmaschinen nach dem Schlick'schen Verfahren, auf die Kreiselbewegung und ihre Verwendung in der Praxis, auf die Schwingungen schnell umlaufender Wellen und auf die Schwingungen des Regulators. Den Schluss des Bandes bildet die Hydrodynamik, die auch Theorien bringt, die sonst in Lehrbüchern der technischen Mechanik fehlen, wie die Helmholtz'sche Theorie der Wirbelbewegung und ihre Anwendung auf atmosphärische Wirbel.

Wie bei den früheren Bänden sind auch diesen am Schlusse Zusammenstellungen der wichtigsten Formeln beigegeben. *Kr.*

H. Armagnat, *Instruments et méthods de Mesures Electriques industrielles.* 2. Ausg. gr. 8°. V, 614 S. m. 228 Fig. Paris 1902. 12,50 M.

W. Kaiser, Die Technik d. modernen Mikroskopes. 2. Aufl. 3. Lfg. Wien, Perles. 2,00 M.

E. P. Treadwell, Kurzes Lehrbuch d. analyt. Chemie. In 2 Bdn. 1. Bd. Qualitative Analyse. 2. Aufl. gr. 8°. XIII, 432 S. m. 14 Abbildgn. u. 1 Spektraltafel. Wien, F. Deuticke 1902. 8,00 M.; geb. 9,00 M.

F. G. Gauss, Fünfstellige vollständige trigonometr. u. polygonometr. Tafeln. Theilung d. Quadranten in 90 Grad zu 60 Minuten. Ster.-Dr. gr. 8°. 100 u. XVIII S. Halle, E. Strien 1902. Geb. in Leinw. 7,00 M.

E. Hammer, Sechsstellige Tafel der Werthe $\log 10 \frac{1+x}{1-x}$. Für jeden Werth des Arguments $\log x$ von 3,0 — 10 bis 9,99000 — 10. Vom Argument 9,99000 — 10 an bis 9,99700 — 10 sind die $\log \frac{1+x}{1-x}$ nur noch fünfstellig angegeben, von dort an vierstellig. Lex. 8°. IV, 73 S. Leipzig, B. G. Teubner 1902. Kart. 3,60 M.

C. Bach, Elastizität u. Festigkeit. Die für die Technik wichtigsten Sätze u. deren erfahrungsmäss. Grundlage. 4. Aufl. gr. 8°. XXII, 650 S. mit in den Text gedr. Abbildgn. u. 18 Taf. in Lichtdruck. Berlin, J. Springer 1902. Geb. in Leinw. 18,00 M.

J. D. Everett, *Illustrations of the C.G.S. System of Units, with Tables of physical Constants.* 8°. 308 S. London 1902. Geb. in Leinw. 5,20 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **April 1902.** Viertes Heft.

Der Pendelapparat für relative Schweremessungen der deutschen Südpolarexpedition.

Von

L. Haasemann in Potsdam.

Die Schwingungszeiten der Pendel lassen sich nach der Koinzidenzmethode so genau bestimmen, dass die Beobachtungsfehler der Koinzidenzen das Resultat nicht wesentlich beeinflussen. Es wird auch immer möglich sein, die Beobachtungen so einzurichten, dass ein ungleiches thermisches Verhalten von Pendelthermometer und Pendel von fast verschwindendem Einfluss auf die Genauigkeit der Beobachtungen ist. Ebenso liefern die Korrektion für die Luftdichte bei geringen relativen Stationshöhen und die Korrektion für die Amplitude der Pendel keine Beiträge von Belang für die Fehler der Bestimmung der Schwingungszeiten. Den wesentlichsten Antheil an diesen Fehlern haben, neben den Korrektionen für das Mitschwingen von Stativ und Pfeiler, die aus dem täglichen Gange der Beobachtungsuhr folgenden. Nicht allein die Ungenauigkeit des aus den Zeitbestimmungen abgeleiteten täglichen Ganges geht in das Resultat ein, sondern auch die Abweichung des täglichen Ganges von dem zur Zeit der Beobachtung gerade herrschenden fälscht das Resultat. Durch Verwendung guter Pendeluhren und zweckmässige Vertheilung der Pendelbeobachtungen über die 24 Stunden, für die der tägliche Gang gilt, kann aber auch dieser Antheil an dem Fehler der Schwingungszeiten klein gehalten werden. Grosse Pendeluhren sind jedoch unbequem zu transportiren und auf Stationen in Gegenden ohne Gebäude nur mit Schwierigkeit zu verwenden. Für Stationen dieser Art empfiehlt sich vielmehr die Benutzung eines leicht zu transportirenden Büchsenchronometers, das ja auch von Forschungsreisenden meistens mitgeführt wird. Bei diesem sind die Schwankungen des täglichen Ganges aber viel grösser als bei guten Pendeluhren, sodass sich gute Beobachtungen nur mit weitgehender Elimination dieser Fehlerquelle erzielen lassen.

Als es sich nun darum handelte, die deutsche Südpolarexpedition mit einem Pendelapparat auszurüsten, entschloss sich Hr. Geheimrath Helmert im Einvernehmen mit Hrn. Prof. von Drygalski, einen neuen Apparat bauen zu lassen, der die Verwendung eines Büchsenchronometers gestattete, ohne die Genauigkeit der Beobachtungen herabzudrücken. Gleichzeitig sollte auch das Mitschwingen des Stativs leicht und mit Sicherheit zu ermitteln sein.

In Amerika verwendet man seit 1891[1]) ein vierseitiges Gefässstativ aus Rothguss, das luftdicht verschliessbar ist und bei den Beobachtungen neuerdings bis auf 50 *mm* Druck ausgepumpt wird. Das Gefäss kann neben dem Pendelthermometer

[1]) *Report of the Superintendent of the U. S. Coast and Geodetic Survey for 1891. Washington 1892. S. 503.*

noch ein Pendel aufnehmen. An jedem Beobachtungstage werden drei Pendel, von denen jedes acht Stunden schwingt, beobachtet. Das Mittel aus den Schwingungszeiten der drei Pendel wird dann frei von den Schwankungen des täglichen Ganges der Beobachtungsuhr sein. Das Mitschwingen des Stativs lässt sich dagegen nur durch besondere Vorrichtungen bestimmen.

Der Idee folgend, die diesem amerikanischen Apparate zu Grunde liegt, hat Hr. Geheimrath Helmert durch den Mechaniker des Geodätischen Instituts, Hrn. Fechner, ein luftdicht verschliessbares Gefässstativ anfertigen lassen, das bei einer durchschnittlichen Wandstärke von 4 *mm* in einem Stücke aus Rothguss gegossen ist. Das Gefäss ist für die Aufnahme von zwei Pendeln eingerichtet, neben welchen auch noch ein Pendelthermometer und ein Manometer Platz finden. Die Pendel schwingen in gleicher Höhe und in gleicher Richtung, sodass das Mitschwingen des Stativs leicht und genau ermittelt werden kann[1]). Durch Auspumpen des Gefässes bis auf etwa 60 *mm* Druck erreicht man es, die Dämpfung der Pendel so zu verringern, dass jedes einzelne 12 Stunden lang beobachtungsfähig schwingt. Es ist daher möglich, die Pendelbeobachtungen in bequemer Weise über 24 Stunden auszudehnen und so den erwähnten Fehler des Uhrgangs zu eliminiren. Da die Pendel, deren Spiegel gegeneinander gekehrt sind, senkrecht zur Beobachtungsrichtung schwingen, so wird die Beobachtung der Koinzidenzen durch Prismen vor den Pendelspiegeln vermittelt.

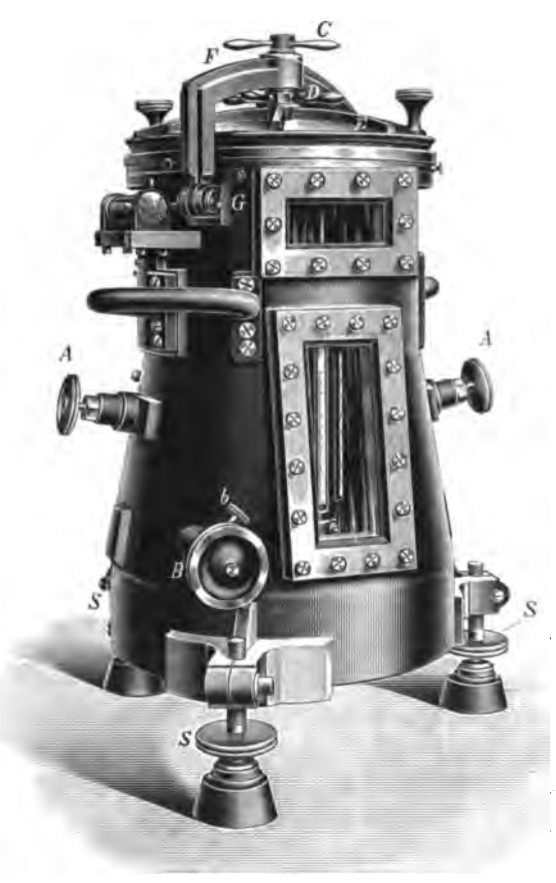
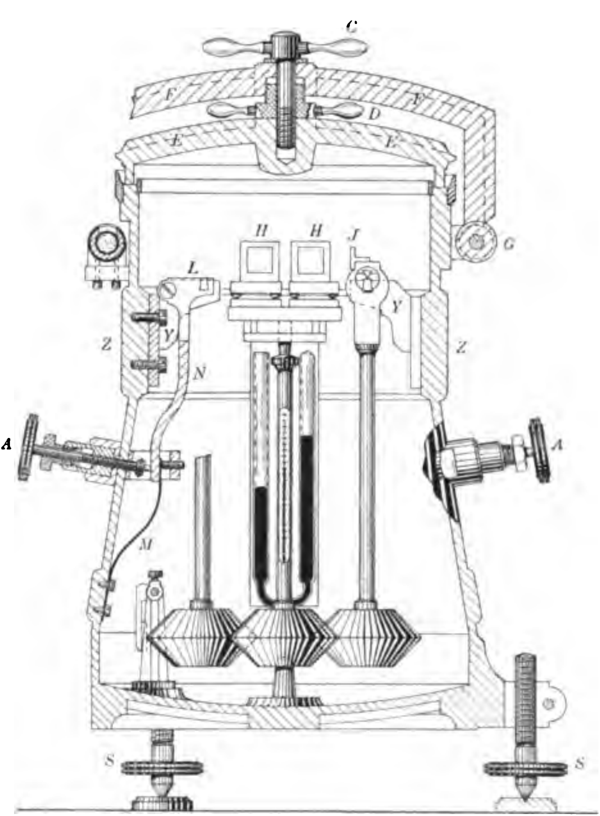


Fig. 1.

Um Raum und Material zu sparen, hat das Gefäss nur unten und oben zylindrische, in der Mitte aber konische Form erhalten. Fig. 1 stellt die äussere Ansicht des Gefässstativs dar, dessen unterer äusserer Durchmesser von 28,5 *cm* sich bei dem oberen auf 25 *cm* verjüngt. Auf dem oberen, etwa 2 *cm* breiten Gefässrande liegt ein leicht auswechselbarer Gummiring, der den luftdichten Verschluss durch den Deckel gewährleistet. Deckel und Boden des Gefässes haben radiale Versteifungen erhalten. Ein um *G* drehbarer bezw. durch eine Krampe mit einem Stift (in Fig. 1 nicht sichtbar, wohl aber in Fig. 2) festgehaltener Bügel dient als Stütze für die beiden Schrauben *D* und *C*. Die Schraube *D* presst den Deckel

[1]) Vgl. R. Schumann, Ueber eine Methode, das Mitschwingen bei relativen Schweremessungen zu bestimmen. *Diese Zeitschr.* **17.** *S. 7. 1897*; M. Haid, Neues Pendelstativ. *Diese Zeitschr.* **16.** *S. 193. 1896.*

von dem Bügel fort gegen den Rand des Gefässes. Die Schraube *C* hebt, nachdem *D* gelöst ist, den Deckel, der nach dem Auspumpen sehr fest auf dem Gefässrande haftet, zentrisch von diesem ab.



Das Nivellement des Stativs führt man durch die Fussschrauben *S* mittels zweier Niveaus aus, die an dem äusseren Gefässrande parallel zur Schwingungsrichtung und senkrecht zu dieser befestigt sind. Der Theilwerth der Niveaus beträgt 10″. Die Schrauben *A A* stehen mit der Aushebevorrichtung der Pendel im Inneren des Gefässes in Verbindung. Die beiden Schraubenköpfe *B* (Fig. 1 u. 2) mit den kleinen Stellschrauben *b* (Fig. 1) dienen zur Einstellung der Amplitude durch einen Hebel, der die Pendel aus der Ruhelage in die jeweilig geforderte Stellung dreht. An der Rückseite des Stativs befinden sich zwei Ventile. Das eine wird mit der Luftpumpe verbunden, während das andere für ein äusseres Manometer zu Versuchszwecken bestimmt ist. Durch das obere der beiden aus 7 *mm* dickem Spiegelglase hergestellten Fenster beobachtet man die Koinzidenzen, durch das untere liest man das gewöhnlich benutzte Manometer sowie das Thermometer ab.

An zwei Handgriffen kann der Apparat von einem Manne ohne Anstrengung getragen werden.

Die innere Einrichtung des Apparates geht aus der im Maassstabe 1 : 5,5 gehaltenen Fig. 2 hervor. An zwei diametral einander gegenüberliegenden Stellen *Z Z* des oberen Zylinders, deren Mantelstärke auf einer quadratischen Fläche von 8 *cm* Seite auf 14 *mm* erhöht ist, sind die Pendelkonsolen *Y Y* angeschraubt. Diese tragen als Pendellager Achatplatten *L L* von 31 *mm* Länge, 9 *mm* Höhe und 7 *mm* oberer Breite, die schwalbenschwanzförmig in ihre Fassungen eingelassen sind. Ist das Nivellement des Apparates mit den beiden Aussenniveaus ausgeführt, so lässt sich die Horizontalität der Achatlager in der zur Schwingungsrichtung der Pendel senkrechten Richtung noch durch

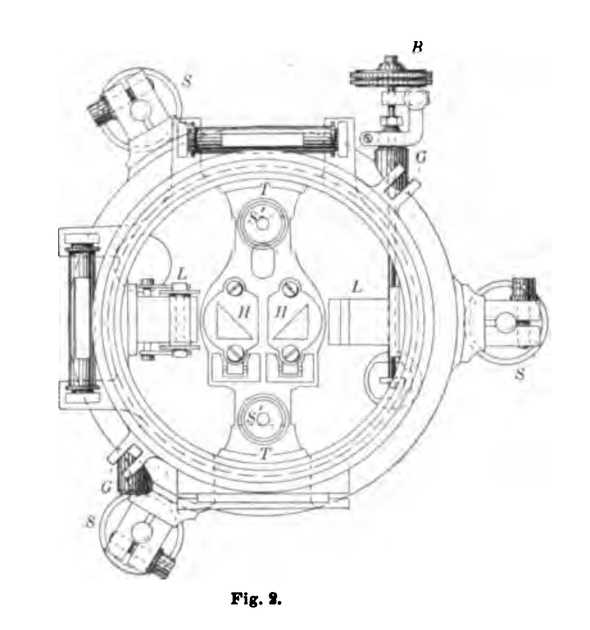


Fig. 2.

ein besonderes Pendelniveau von 10″ Theilwerth prüfen. Dieses Niveau ist auf einer Stahlschneide befestigt und trägt an zwei Armen, die von der Niveaufassung aus nach unten sich vereinigen, einen Messingzylinder, um das Gewicht des Niveaus dem der Pendel gleich zu machen. Weicht das Innennivellement von dem Aussennivellement stark ab, so lässt sich das Pendelkonsol nach Lösung der Befestigungsschrauben etwas um seine Vertikalachse drehen, sodass man die beiden Nivellements wieder in Uebereinstimmung bringen kann. Die Befestigung der Konsolen ist aber so sorgfältig und fest ausgeführt, dass ein Verrücken derselben nicht leicht möglich ist und ein Korrigiren nur in den seltensten Fällen nöthig sein wird. Die Horizontalität der Achatlager in der Schwingungsrichtung wird durch eine Setzlibelle von 1′ Theilwerth kontrolirt.

Die Aushebevorrichtung für die Pendel ist so ausgeführt, wie Hr. von Sterneck in *dieser Zeitschr. 8. S. 159. 1888* zuerst angegeben hat. Um zwei an den Seiten der Pendelkonsolen befindliche Stifte ist der hufeisenförmige Hebel N drehbar. Er trägt an seinen beiden Armen die Hülfslager der Pendel. Durch die von aussen drehbare Schraube A, der die Feder M entgegenwirkt, lassen sich die in den Hülfslagern liegenden Pendel heben und senken. Das Einhängen der Pendel erleichtern an den Enden der Hülfslager angebrachte kleine, um 45° gegen die Vertikale geneigte Spiegel, die eine richtige Lagerung der Pendel in den Hülfslagern von oben erkennen lassen.

In gleicher Höhe mit den Pendelkonsolen befinden sich, von diesen um je 90° entfernt, an der Innenwand des oberen Zylinders die Konsolen $T\,T$, welche die Prismenbrücke tragen. Zylindrische Stifte auf den Konsolen, die in entsprechende Vertiefungen der Brücke eingreifen, schützen diese vor seitlicher Bewegung. Die Schrauben S', die an ihren Enden schraubenflächenförmige Ansätze von einem halben Umgang tragen, pressen die Brücke fest gegen die Konsole. Zwei übereinander liegende Platten zu beiden Seiten des in der Mitte der Brücke befindlichen Handgriffs tragen die Prismen $H\,H$. Die oberen Platten, auf denen die Prismen befestigt sind, liegen mit zwei halbkugelförmigen Füssen auf den unteren. Mit den in den Senkrechten zu den Verbindungslinien der beiden Füsse angebrachten Schrauben kann eine Drehung der Prismen um ihre Vertikalachsen ausgeführt werden. Eine Verschiebung der Prismen im horizontalen Sinne bewirken zwei einander entgegenwirkende Schrauben, die an den unteren Platten angreifen.

Als Pendelthermometer dient ein Thermometer, das mit seinem Gefässe in der Durchbohrung einer Pendellinse steckt und dessen Kapillare mit der Skale eine in ihren äusseren Dimensionen den Pendelstangen ähnliche Messingröhre umschliesst. Das innere Manometer zeigt Drucke von 100 *mm* abwärts an. Durch die auf einer Spiegelfläche hergestellte Theilung wird der durch Parallaxe entstehende Ablesefehler vermieden. Thermometer und Manometer sind auf einer Platte gemeinsam so befestigt, dass die Arme des Manometers das Thermometer umschliessen. Die Thermometerlinse sitzt mit einer entsprechenden Vertiefung auf einem am Boden des Gefässes befindlichen Zapfen mit kugelförmiger Spitze und einem rechtwinklig nach innen gerichteten kurzen zylindrischen Stift. Von oben wird die Platte durch einen Schraubenstift gehalten, der durch die Brückenkonsole hindurchgeht und in eine Höhlung des Thermometerkopfes eingreift.

Zu dem Apparate gehören die beiden Pendelpaare Nr. 13, 14 und Nr. 26, 27, die von P. Stückrath in Friedenau angefertigt sind. Jedes Pendel trägt an der Schneidenfassung zwei entgegengesetzt gerichtete Spiegel, von denen der eine aus versilbertem Glase hergestellt ist, während der andere aus dunklem Glase besteht.

Die dunkeln Spiegel schienen erforderlich, um nach einem Unbrauchbarwerden der versilberten Spiegel auf alle Fälle gesichert zu sein.

Die Gesammtlänge der schwalbenschwanzförmig in die Fassungen eingelassenen Achatschneiden beträgt 52 *mm*. Sie sind in der Mitte und an den beiden Enden der 11 *mm* langen Hauptschneiden konkav ausgeschliffen. Die Hauptschneiden ruhen ihrer ganzen Länge nach auf den sorgfältig plan geschliffenen Lagern, die an beiden Seiten noch 2 *mm* über die Enden der Schneiden hinausragen. Die Aussentheile der Schneiden dienen als Hülfsschneiden. Der Schneidenwinkel beträgt etwa 120°. Zum Ein- und Aushängen der Pendel benutzt man einen mit Handgriff versehenen Haken, mit dem die Pendel an einem Ringe getragen werden, der zwischen den Pendelspiegeln befestigt ist. So wird ein Berühren der Pendel mit der Hand vermieden.

Um bei der Bestimmung des Mitschwingens einen Einfluss der durch das schwingende Pendel bewegten Luft auf das ruhende Pendel zu verhüten, ist zwischen den Pendeln eine Schutzwand aufgestellt, die die Form eines Spatens hat. Die Messingplatte des Spatens ist 11 *cm* hoch und 10 *cm* breit. Mit zwei zylindrischen Röhren an den Seiten des Spatens sitzt dieser auf zylindrischen Zapfen am Boden des Gefässes, während die konische Spitze des Stieles in eine Höhlung der Prismenbrücke eingreift.

Ein Sterneck'scher Koinzidenzapparat[1]) dient zum Beobachten der Koinzidenzen mit der Beobachtungsuhr. Es werden entweder die beiden versilberten Spiegel oder die beiden aus dunklem Glase bestehenden gleichzeitig benutzt. Jedes Spiegelpaar der zusammengehörigen Pendel ist so auf einander abgestimmt, dass nach Justirung der Prismen die beiden Bilder der Skale rechts und links vom Mittelfaden des Koinzidenzfernrohrs erscheinen. Das Koinzidenzfernrohr ist mittels eines Exzenters um einen Winkel von etwa 25° horizontal drehbar, sodass sich bei der Beobachtung die Einzelbilder allein durch Drehung des Fernrohrs gut einstellen lassen, ohne dass der ganze Apparat verschoben zu werden braucht.

Als Beobachtungsuhr wird ein nach mittlerer Zeit gehendes Kontaktchronometer von Nardin benutzt. Den elektrischen Strom liefert ein Hellesen-Element von Siemens & Halske. Um mit geringen Strömen arbeiten zu können und dadurch den Kontakt der Uhr zu schonen, ist in den Stromkreis zwischen Uhr und Element neben einem regulirbaren Widerstande und einem Messapparat ein Relais eingeschaltet, das die durch die Uhr bewirkten Stromschlüsse auf den durch zwei Hellesen-Elemente getriebenen Koinzidenzapparat leitet. Die für den Koinzidenzapparat bestimmten Elemente werden vor der Benutzung geprüft, da zu schwach gewordene Elemente die Beobachtung leicht fälschen können.

Nach den Versuchen, die ich während der Dauer von 5 Monaten mit dem Chronometer und dem Pendelapparat angestellt habe, hat es sich als zweckmässig und ausreichend ergeben, an jedem Beobachtungstage zwei Pendel je 12 Stunden schwingen zu lassen. Alle 2 bis 3 Stunden werden 10 Koinzidenzen beobachtet und das Resultat dann aus der ersten und letzten Reihe abgeleitet. Die dazwischenliegenden Koinzidenzen dienen als Zählkoinzidenzen, um bei der Schlussreihe über die Anzahl der stattgehabten Koinzidenzen sicher zu sein. Die Beobachtung der Zwischenreihen ist erforderlich, weil die Pendel nur eine Koinzidenzdauer von 30 Sekunden haben. Sind Uhrgang und Temperatur während der Beobachtung stark veränderlich, so kann man ohne die Zwischenreihen über die Anzahl der zwischen der ersten und letzten

[1]) Vgl. R. von Sterneck, Der neue Pendelapparat des k. k. militär-geographischen Instituts. *Diese Zeitschr.* **8.** *S. 157. 1888.*

Reihe liegenden Koinzidenzen leicht im Unklaren sein. Deshalb ist es bei dieser Beobachtungsmethode von grossem Vortheil, Pendel mit langer Koinzidenzdauer — etwa 3 Minuten — zu benutzen. Leider konnten wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit keine anderen Pendel beschafft werden. Wesentlich ist noch das öftere Ablesen der Temperatur des Pendelthermometers, das eventuell bei stark variabeler Temperatur durch einen Thermographen zu unterstützen ist.

Bei den in Aussicht genommenen Schlittenreisen werden nur zwei Pendel mitgeführt, die aber durch die auf der Hauptstation verbliebenen und hier mitbeobachteten beiden Pendel auf ihre Unveränderlichkeit während der Reise geprüft werden.

Der zweite Offizier des „Gauss", Hr. L. Ott, hat mich bei der Ausführung der Anschlussmessungen wesentlich unterstützt. Hr. Prof. von Drygalski hat zu seiner Orientirung auch einige Reihen beobachtet.

Die hier folgende Tabelle über die Anschlussmessungen giebt einen Ueberblick über die Genauigkeit der Beobachtungen mit dem Kontaktchronometer. Die Sekundenpendeluhr Strasser & Rohde Nr. 101, die in dem gleichen Raume wie der Pendelapparat stand, dient als Vergleichsuhr. Chronometer und Pendeluhr sind meistens gleichzeitig zur Beobachtung der Koinzidenzen benutzt.

Pendel Nr. 13				
1901	Schwingungszeit in Sek. nach Str. 101	Schwingungszeit in Sek. nach Nardin	Differ. Str.-N.	Beob.
Juni 5.	0,5062148	0,5062147	+ 1	Ott.
„ 10.	0,5062144	—	—	Ott.
„ 12. u. 13.	0,5062150	0,5062156	— 6	Hn.
„ 13. u. 14.	0,5062136	0,5062146	— 10	Hn.
„ 17. u. 18.	0,5062160	0,5062139	+ 21	Hn.
Mittelwerth	0,5062148	0,5062147	+ 1	

Pendel Nr. 14				
1901	Schwingungszeit in Sek. nach Str. 101	Schwingungszeit in Sek. nach Nardin	Differ. Str.-N.	Beob.
Juni 5. u. 6.	0,5064079	—	—	Hn.
„ 11.	0,5064074	—	—	Ott.
„ 13.	—	0,5064071	—	v. Dryg.
„ 14.	0,5064076	0,5064074	+ 2	Hn.
„ 17.	0,5064073	0,5064067	+ 6	Hn.
„ 18.	0,5064078	0,5064090	— 12	Hn.
Mittelwerth	0,5064076	0,5064076	0	

Pendel Nr. 26				
1901	Schwingungszeit in Sek. nach Str. 101	Schwingungszeit in Sek. nach Nardin	Differ. Str.-N.	Beob.
Juni 3.	0,5085165	0,5085166	— 1	Ott.
„ 4. u. 5.	0,5085161	0,5085154	+ 7	Hn.
„ 9. u. 10.	0,5085153	—	—	Hn.
„ 12.	0,5085158	0,5085147	+ 11	Ott.
„ 20.	0,5085153	0,5085175	— 22	Hn.
„ 21.	0,5085155	0,5085154	+ 1	Hn.
Mittelwerth	0,5085158	0,5085159	— 1	

Pendel Nr. 27				
1901	Schwingungszeit in Sek. nach Str. 101	Schwingungszeit in Sek. nach Nardin	Differ. Str.-N.	Beob.
Juni 3. u. 4.	0,5084002	—	—	Hn.
„ 4.	0,5083998	0,5083996	+ 2	Ott.
„ 7.	0,5083995	—	—	Ott.
„ 7. u. 8.	0,5083998	—	—	Hn.
„ 11. u. 12.	0,5083992	0,5083994	— 2	Hn.
„ 19.	0,5083984	0,5083988	— 4	Hn.
Mittelwerth	0,5083995	0,5083993	+ 2	

Von allgemeinerem Interesse dürfte noch die Bestimmung der Konstanten der Luftdichte sein. Die Untersuchung erstreckte sich auf die Ermittelung der Schwingungszeiten bei Luftdichten von 0,05 bis 0,97. Die Beobachtungen jedes einzelnen Pendels sind linear ausgeglichen. Ich erhielt in Einheiten der 7. Dezimalstelle der Sekunden

für Nr. 13: $652{,}7 \pm 6{,}4$; für Nr. 26: $639{,}9 \pm 4{,}4$;
für Nr. 14: $641{,}2 \pm 11{,}0$; für Nr. 27: $646{,}4 \pm 7{,}2$.

Reduzirt man mit diesen Werthen die einzelnen Beobachtungen, so erhält man die in der folgenden Tabelle dargestellten übrigbleibenden Fehler:

Beobachtete Luftdichte	Uebrigbleibende Fehler bei		Beobachtete Luftdichte	Uebrigbleibende Fehler bei	
	Nr. 13	Nr. 14		Nr. 26	Nr. 27
0,053	+ 6	+ 11	0,048	+ 7	+ 10
0,086	+ 5	+ 5	0,064	− 1	+ 1
0,086	− 11	+ 2	0,104	− 4	− 1
0,112	0	− 9	0,252	− 4	− 1
0,204	+ 2	− 9	0,369	− 3	− 10
0,569	− 5	− 13	0,520	+ 2	− 9
0,766	0	+ 12	0,655	+ 1	− 4
0,968	+ 3	− 1	0,698	+ 3	+ 9
			0,953	− 2	+ 5

Sie zeigen den Charakter von Beobachtungsfehlern. Die Beobachtungen werden also durch die lineare Beziehung zwischen den Schwingungszeiten und den angewandten Luftdichten gut dargestellt.

Eine Ausgleichung unter Mitnahme eines von der Quadratwurzel der Dichte abhängigen Gliedes führte zu keinen wesentlich besseren Resultaten. Die Koeffizienten des Wurzelgliedes ergaben sich sehr ungenau. Ihre mittleren Fehler erreichten in Einzelfällen die Grösse der Koeffizienten.

Anwendung der Hartmann'schen Methode der Zonenprüfung auf astronomische Objektive.

Von

Dr. **Hans Lehmann.**

(Mittheilung aus der optisch-astronomischen Werkstätte von C. A. Steinheil Söhne in München.)

Während meines Aufenthaltes im Astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam war Hr. Dr. Hartmann so liebenswürdig, mir seine vortreffliche Methode der Objektivprüfung in praxi mitzutheilen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

In letzter Zeit nun hatte ich Gelegenheit, diese neue Methode auf Veranlassung des Hrn. Dr. R. Steinheil an sehr vielen Objektiven der verschiedensten Dimensionen anzuwenden und ihren hohen Werth zu erproben. Abgesehen davon, dass man mit ihr den Grad der Achromasie, der sphärischen Aberration, des Astigmatismus, kurz alle Fundamentalfehler eines Objektivs äusserst genau feststellen kann, ermöglicht sie es besonders, geringe Aenderungen an Objektiven, die sogenannte „Retouche", rechnerisch bis ins Feinste zu verfolgen, wo subjektive Beobachtung, ja selbst die Anwendung von Probegläsern und der Cooke'schen Methode längst versagen.

Das Prinzip der Methode ist von Hrn. Dr. Hartmann in dieser Zeitschrift[1]) schon vor zwei Jahren mitgetheilt worden. Es sei hier nur daran erinnert, dass es sich hierbei im Wesentlichen um eine theilweise Abblendung des zu untersuchenden Objektives und um eine extrafokale und eine intrafokale photographische Aufnahme handelt. Die Platten werden dann mikrometrisch ausgemessen, und aus den so

[1]) *Diese Zeitschr.* **20.** *S. 51. 1900.*

erhaltenen Messungsresultaten wird die Fokusdifferenz für jede einzelne Zone des Objektives berechnet. Die Lichtquelle ist natürlich monochromatisch zu nehmen, und demgemäss gelten auch alle Resultate, die man nach dieser Methode erhält, zunächst nur für monochromatisches Licht. Kann man aber die Flächenfehler des Objektives, die sogenannte „mechanische sphärische Aberration“[1]), für Licht einer bestimmten Wellenlänge beseitigen, so werden diese Fehler auch für alle anderen Farben verschwinden, wenigstens bis auf Grössen höherer Ordnung.

Es sei noch bemerkt, dass diese „mechanische sphärische Aberration“ nicht allein eine Folge von Flächengestaltfehlern zu sein braucht, sondern z. B. auch von einer ganz geringen Aenderung der Brechung senkrecht zur optischen Achse herrühren kann.

Es fragt sich nun:

1. Ist es überhaupt möglich, diese mechanische sphärische Aberration, die sich nach Hartmann's Methode nachweisen lässt, zu beseitigen bezw. zu vermindern;
2. bis zu welcher Grenze kann man dann technisch diesen Fehler beheben;
3. lässt sich wenigstens die Grenze erreichen, welche durch den kleinsten Zerstreuungskreis gegeben ist, der durch das Zusammenwirken des sekundären Spektrums und der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration[2]) bedingt ist?

Die Antwort auf diese Frage wird am besten durch die Anführung eines praktischen Beispiels gegeben[3]). Ich theile daher im Folgenden die Prüfungsresultate eines Sechs-Zöllers von etwa 2,3 *m* Brennweite mit.

Dieser Sechs-Zöller zeigte dem subjektiven Beobachter schon vor der Aenderung ein recht gutes Bild. Bei Anwendung der Hartmann'schen Methode ergab sich jedoch, dass das Objektiv einige geringe Zonenfehler besass. Die Fig. 1a bis 5a zeigen nun das allmähliche Verschwinden dieser Fehler. Diese Kurven stellen die Längsaberration ΔF einer jeden Zone dar, ausgedrückt in Einheiten der Brennweite F. Als Abszissen sind die den Zonen entsprechenden relativen Oeffnungen O/F gewählt worden.

Die zweite Reihe von Figuren, Fig. 1b bis 5b, veranschaulicht die absolute Grösse des Zerstreuungskreises für jede Zone des Objektives, und zwar in einer Ebene, die durch einen Punkt der Längsaberration senkrecht zur optischen Achse so gelegt ist, dass bei Benutzung der vollen Oeffnung des Objektives das Minimum des Zerstreuungskreises erzielt wird. Als Ordinaten sind hier die Durchmesser B der Bildpunkte, die sich aus ΔF berechnen, in Einheiten der Brennweite aufgetragen; die Abszissen sind wieder die relativen Oeffnungen der untersuchten Zonen.

Es sind hier auf Grund rein geometrischer Betrachtungsweise die Zerstreuungskreise eingeführt worden, wie das in der Optik allgemein gang und gäbe ist. Für ein ideales Objektiv würde also hiernach für alle Zonen der Zerstreuungskreis verschwinden, d. h. gleich Null sein. Bekanntlich steht diese Annahme mit der Wirklichkeit in

[1]) Diesen Ausdruck führte Hr. Dr. R. Steinheil ein; vgl. *diese Zeitschr.* **19.** *S. 183. 1899.*

[2]) Diese chromatische Differenz der sphärischen Aberration ist übrigens, entgegen den vielfach (auch in Lehrbüchern) geäusserten Anschauungen, im Verhältniss zum sekundären Spektrum verschwindend klein bei Fernrohrobjektiven, wie Hr. Dr. Steinheil an einem Beispiel empirisch-rechnerisch nachwies; vgl. *diese Zeitschr.* **19.** *S. 179. 1899.*

[3]) Die Lichtquelle war bei diesen Versuchen bisweilen ein heller Stern (α Lyrae u. s. w.), meist aber ein sogenannter künstlicher Stern in endlicher Entfernung. In letzterem Falle wurde das Resultat auf unendlichen Objektabstand reduzirt. Beide Methoden geben, wie ich mich des Oefteren überzeugte, vollkommen identische Resultate.

Widerspruch. Erst die Beugungstheorie giebt hierüber Aufschluss. Nach dieser Theorie entsteht das minimale Beugungsscheibchen oder das Maximum der Intensitäts- oder Energievertheilung nur dann in dem kleinstmöglichen Raum, wenn die aus dem Objektiv austretende Welle Kugelflächen bildet. Beugungstheoretisch ausgedrückt, thut also die Hartmann'sche Methode weiter nichts, als dass sie feststellt, in welchen Punkten der optischen Achse sich einzelne, verschiedenen Stellen der Wellenfläche entsprechende Normalen schneiden, d. h. sie stellt fest, inwieweit die Wellenfläche, welche das geprüfte Objektiv liefert, sich einer Kugelfläche nähert. Also nur dann,

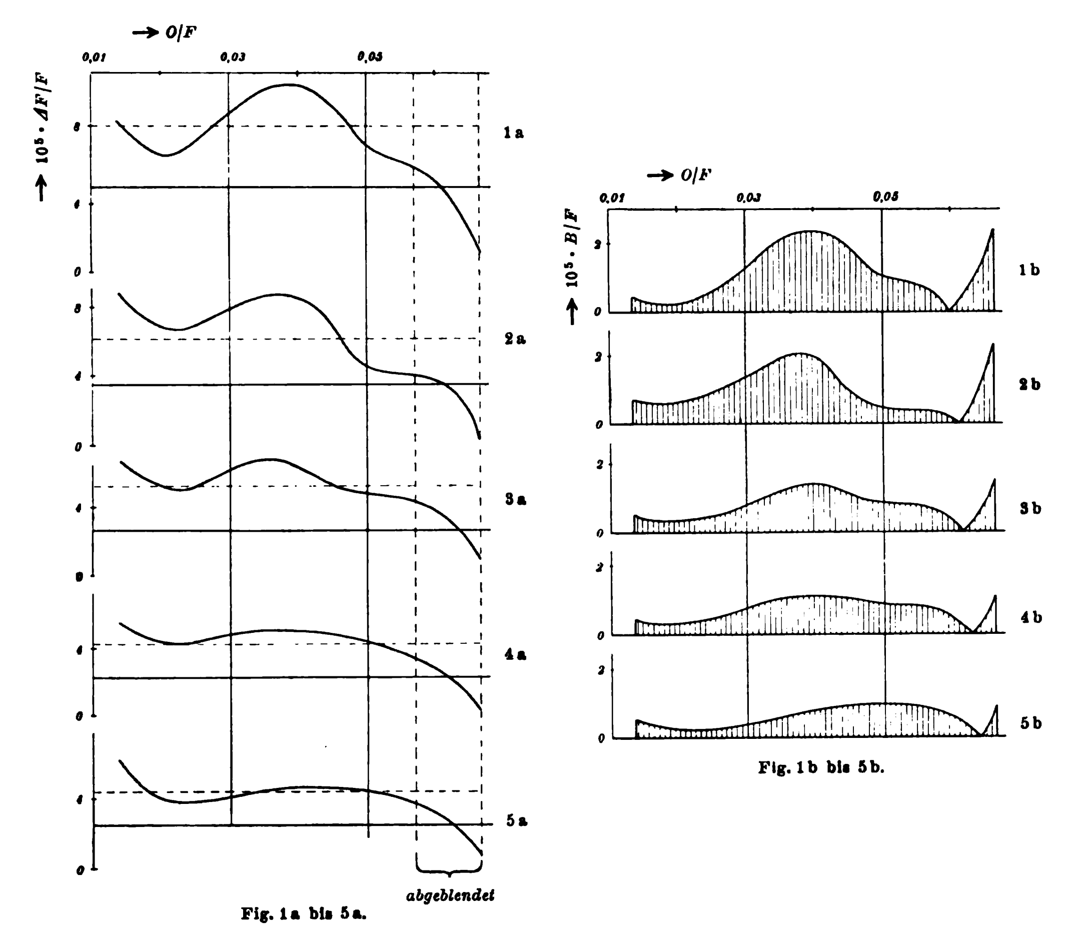


Fig. 1a bis 5a.

Fig. 1b bis 5b.

wenn für ein Objektiv nach der geometrischen Methode für alle Zonen der Zerstreuungskreis Null oder praktisch nahezu Null ist, wird dieses Objektiv das kleinste Beugungsscheibchen liefern, dessen Grösse sich bekanntlich berechnet nach der Formel[1])

$$B' = \frac{2c\lambda}{Q},$$

worin $c = 1{,}2197$, λ die Wellenlänge und Q die relative Oeffnung bedeutet. Für den untersuchten Sechs-Zöller beträgt B' im Maximum (für sehr helle Sterne mit starker Irradiation) 0,02 *mm*, für Sterne mittlerer Grösse etwa 0,01 *mm*.

Im Folgenden sind jedoch unter den Ausdrücken „Bildpunkt“ und „Zerstreuungskreis“ nur die geometrischen Begriffe zu verstehen.

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **14.** *S. 162. 1894.*

$\frac{O}{F}$	B				
	1b	2b	3b	4b	5b
0,013	0,01044	0,01639	0,01137	0,01083	0,01295
0,022	0,00815	0,01674	0,00991	0,00991	0,00749
0,031	0,03423	0,03300	0,01935	0,01850	0,01203
0,039	0,05471	0,04838	0,03172	0,02498	0,01983
0,048	0,02860	0,01357	0,02278	0,02326	0,02278
0,057	0,01661	0,00916	0,01718	0,01832	0,02004
0,066	0,05419	0,04823	0,03172	0,02511	0,02313
Mittel:	0,0296	0,02649	0,02058	0,01870	0,01689

Die Tabellen 1b bis 5b geben die wahren[1]) Durchmesser der Bildpunkte in Millimeter an. Hiernach beträgt der kleinste Zerstreuungskreis für das Objektiv in der Form 1 0,055 *mm* und nimmt allmählich bis auf 0,023 *mm* ab, wie aus Tabelle 5b hervorgeht. Berücksichtigt man aber die Thatsache, dass in diesen Zerstreuungskreisen die Helligkeit nicht überall konstant ist, sondern in der Mitte, wie auch aus den Diagrammen *b* hervorgeht, am stärksten, so wird man im Allgemeinen als wirksamen Zerstreuungskreis das Mittel aus allen Zerstreuungskreisen der einzelnen Zonen annehmen können. Man erhält dann für das Objektiv der Form 1 bis 5 die Werthe 0,029 *mm* bis 0,017 *mm*, welche Zahlen als „Mittel“ unter den Tabellen stehen.

Weiter ist die Aenderung des Objektives nicht getrieben worden, obwohl wir noch ganz gut den Fehler der Randzone hätten beseitigen können.

Es wäre aber vollständig zwecklos gewesen, dies zu thun, denn *das in der Form 5 dargestellte Objektiv giebt bei voller Oeffnung für monochromatisches Licht einen Zerstreuungskreis von im Maximum 0,023 mm, der weit unter dem Zerstreuungskreis liegt, der durch das sekundäre Spektrum hervorgebracht wird und bei diesem Objektiv laut Rechnung 0,08 mm beträgt.* Eine einfache geometrische Betrachtung zeigt nämlich, dass das sekundäre Spektrum durch Zonenfehler nur dann vergrössert wird, wenn der geometrische Zerstreuungskreis der mechanisch-sphärischen Aberration grösser ist als der durch das sekundäre Spektrum hervorgerufene.

Hieraus geht hervor, dass die Hartmann'sche Prüfungsmethode ein vorzügliches Kriterium dafür bildet, inwieweit das untersuchte Objektiv technisch den an es gestellten Forderungen genügt.

Besonderen Vortheil bietet natürlich diese Untersuchungsmethode bei der Herstellung von Objektiven mit vermindertem sekundären Spektrum und ebenso ganz besonders bei photographischen Objektiven, bei denen nur ein beschränktes Spektralgebiet zur Wirkung gelangt, und vor Allem bei der Herstellung von *parabolischen Spiegeln.*

Zum Vergleich sind noch die Messungsresultate von drei weiteren Objektiven dargestellt worden, von einem photographischen (Fig. 6) und einem optischen (Fig. 7), beide von etwa 38 *cm* Oeffnung und 5 *m* Brennweite, sowie von einem optischen Fünf-Zöller (Fig. 8) von etwa 1,8 *m* Brennweite. Die Koordinaten sind hierbei wieder in Einheiten der Brennweite ausgedrückt, sodass alle Diagramme *a* aufeinander bezogen werden können, ebenso die Diagramme *b*, während die Tabellen dagegen die absoluten (geometrischen) Werthe geben. Aus den Diagrammen der Fig. 6, 7 und 8

[1]) also nicht in Einheiten der Brennweite.

geht hervor, dass diese Objektive mindestens dieselbe technische Vollkommenheit aufweisen, wie der Sechs-Zöller in der Form 5b. Begreiflicher Weise wächst die Schwierigkeit der Herstellung mit der Dimension der Objektive ganz ausserordentlich.

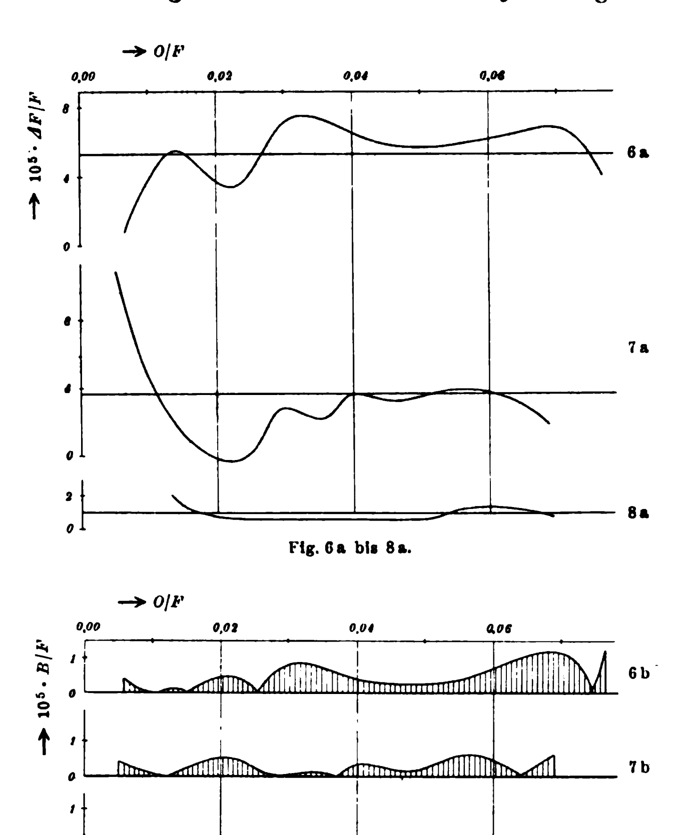


Fig. 6a bis 8a.

Fig. 6b bis 8b.

6b		7b		8b	
O/F	B	O/F	B	O/F	B
0,006	0,01210	0,005	0,02036	0,012	0,002447
0,013	0,00143	0,011	0,00410	0,023	0,001780
0,022	0,02078	0,016	0,01999	0,035	0,001952
0,032	0,03259	0,022	0,03298	0,046	0,002561
0,041	0,01802	0,028	0,00028	0,057	0,002515
0,050	0,01006	0,034	0,01070	0,069	0,001783
0,059	0,02740	0,039	0,01843		Mittel: 0,002173
0,069	0,05166	0,045	0,00094		
0,077	0,05222	0,051	0,01925		
	Mittel: 0,02514	0,056	0,03271		
		0,062	0,01056		
		0,068	0,02986		
			Mittel: 0,01668		

Dass es möglich ist, ein Objektiv mit einem noch kleineren Zerstreuungskreis herzustellen, möge folgende Betrachtung zeigen. Der untersuchte Sechs-Zöller zeigt zufällig in allen Formen noch einen grösseren Fehler der Randzone. Macht man also aus dem Sechs-Zöller einen Fünf-Zöller, indem man ihn bis auf $O/F = 0{,}057$ abblendet,

so erhält man ein Objektiv mit viel kleinerem Zerstreuungskreis als bei voller Oeffnung. Die Diagramme 1c bis 5c veranschaulichen für diesen Fall die Zerstreuungskreise der einzelnen Zonen, wobei natürlich die Einstellungsebene eine etwas andere ist als vorher. Diese Einstellung ist in den Kurven für ΔF durch die punktirte Linie gekennzeichnet, während die ausgezogene Linie die Einstellung für die volle Oeffnung des Objektives angiebt. Wie die Tabellen 1c bis 5c zeigen, nimmt der Zerstreuungskreis für das abgeblendete Objektiv von 0,026 bis auf 0,0069 *mm* ab, und berücksichtigt man, wie oben erwähnt, dass die Intensität in der Mitte des Zerstreuungskreises grösser ist als am Rande, so betragen die Werthe im Mittel 0,013 bis 0,0033 *mm*.

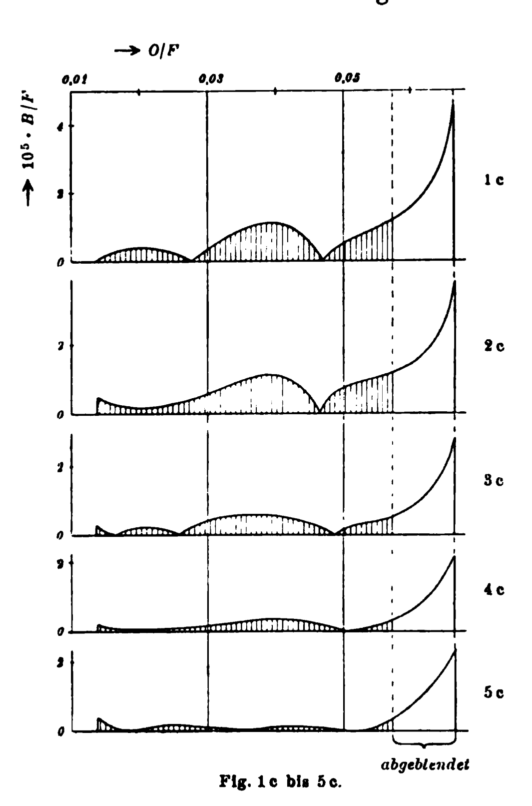


Fig. 1c bis 5c.

Ein noch besseres Resultat ergab das der Fig. 8 entsprechende Objektiv, das wohl so ziemlich an der Grenze der technischen Leistungsfähigkeit stehen dürfte. Hier beträgt der kleinste Zerstreuungskreis 0,0025 und im Mittel 0,00217 *mm*.

Um die technische Güte, den *„Grad der mechanisch-sphärischen Aberration"* der Objektive untereinander vergleichen zu können, habe ich hier die Fokusdifferenzen der Zonen

$\frac{O}{F}$	B				
	1c	2c	3c	4c	5c
0,013	0,00066	0,00859	0,00476	0,00489	0,00662
0,022	0,00815	0,00374	0,00110	0,00000	0,00286
0,031	0,01141	0,01480	0,00894	0,00463	0,00247
0,039	0,02537	0,02499	0,01190	0,00714	0,00129
0,048	0,00727	0,01503	0,00145	0,00145	0,00000
0,057	0.02577	0,02462	0,01145	0,00744	0,00687
Mittel:	0,01311	0,01529	0,00660	0,00426	0,00334

in Einheiten der Brennweite graphisch dargestellt. Oft ist es aber in der Praxis bequemer, den Vergleich durch eine einzige Zahl zu geben. Das erreiche ich dadurch, dass ich die Grösse des mittleren Bildpunktes, der aus der mechanisch-sphärischen Aberration für monochromatisches Licht ermittelt wurde, in Einheiten der Brennweite ausdrückte[1]). Die so erhaltene Zahl kann man direkt als Maass der mechanisch-sphärischen Aberration, als eine *technische Konstante* des Objektives ansehen.

[1]) Streng genommen müsste man hier auch die relative Oeffnung mit in Betracht ziehen, aber diese ist ja für eine bestimmte Kategorie von Objektiven im Allgemeinen nahezu konstant.

Dann erhält man für die hier mitgetheilten Prüfungsbeispiele:

Objektiv		Mechanisch-sphärische Aberration $= 10^5 . B/F$
1. Sechs-Zöller bei voller Oeffnung	Fig. 1 b	1,3040
	„ 2 „	1,1670
	„ 3 „	0,9067
	„ 4 „	0,8237
	„ 5 „	0,7442
2. Sechs-Zöller abgeblendet bis $O/F = 0,057$	Fig. 1 c	0,5770
	„ 2 „	0,6582
	„ 3 „	0,2942
	„ 4 „	0,1877
	„ 5 „	0,1470
3. Grosses photogr. Objektiv	Fig. 6	0,5841
4. Grosses optisches Objektiv	Fig. 7	0,3193
5. Fünf-Zöller	Fig. 8	0,1242

Für ein ideales Objektiv nähert sich demnach die mechanisch-sphärische Aberration dem Grenzwerthe Null.

Der grösste Werth, den ich bei meinen bisherigen Untersuchungen ermittelte, beträgt 1,6. Im Mittel aber überstiegen diese Konstanten nicht den Werth 0,7.

In welcher Beziehung die mechanisch-sphärische Aberration zu dem wahren Bildpunkte, dem Beugungsscheibchen, steht, ist mir noch nicht gelungen zu ermitteln. Nur soviel ist wohl klar, dass die Modifikation, welche die Helligkeit, Form und Grösse des Beugungsscheibchens durch Zonenfehler erleiden, um so grösser wird, je grösser die mechanisch-sphärische Aberration ist[1]).

Jedenfalls haben wir hier gezeigt, dass es technisch möglich ist, Objektive herzustellen, welche die denkbar kleinsten Bildpunkte liefern und welche bei optischen oder photographischen Untersuchungen in monochromatischem oder nahezu monochromatischem Lichte offenbar recht gute Resultate geben werden. Man würde dann für diesen Fall das Objektiv *nur sphärisch*[2]) vollkommen korrigiren und mit sehr grosser relativer Oeffnung herstellen. Mit einem solchen Objektive würde man in Folge seines ausserordentlich grossen Auflösungsvermögens z. B. Beobachtungen von sehr engen Doppelsternen, von Planetendetails, wie z. B. den Marskanälen u. s. w., mit grösserem Erfolg als bisher anstellen können. Um hierbei die Lichtvertheilung auf den Objekten beurtheilen zu können, müsste man natürlich jede Beobachtung mit verschiedenen Farbfiltern für sich wiederholen.

Vor Allem aber kam es uns hier zunächst darauf an, den Beweis für die Möglichkeit der Herstellung von Objektiven zu erbringen, die technisch so vollkommen sind, dass sie den an sie gestellten theoretischen Anforderungen vollständig Genüge leisten.

---

[1]) Vgl. K. Strehl, Zonenfehler und Wellenflächen. *Diese Zeitschr.* **20.** *S. 266. 1900.*

[2]) Dieser Gedanke wurde bereits von Hrn. Dr. Hartmann ausgesprochen.

Die Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1901[1]).

A. Allgemeines.

Ausführungsmaassregeln zu dem Gesetz betr. die elektrischen Maasseinheiten.

Die im vorigen Thätigkeitsbericht erwähnten Ausführungsbestimmungen zu dem Gesetz betreffend die elektrischen Maasseinheiten hat der Bundesrath in der Sitzung vom 2. Mai genehmigt. Dieselben sind im *Reichsgesetzblatt für 1891. Nr. 16* veröffentlicht.

In Rücksicht auf die am 1. Januar 1902 in Kraft tretenden Bestimmungen des Gesetzes betreffend die elektrischen Maasseinheiten ist eine Prüfordnung für elektrische Messgeräthe entworfen, eingehenden Berathungen innerhalb der Reichsanstalt unterzogen und im Entwurfe den sämmtlichen vom Reichsamte des Innern früher zur Berathung der Ausführungsbestimmungen zugezogenen Sachverständigen, sowie allen deutschen Fabrikanten von Elektrizitätszählern zum Zwecke einer gutachtlichen Aeusserung übersandt worden.

Unter thunlichster Berücksichtigung der hierauf eingegangenen Antworten ist die endgültige Fassung der Prüfordnung soweit gefördert worden, dass sie im *Centralblatt f. d. Deutsche Reich 1902. Nr. 11* veröffentlicht werden und, mit den Vorschriften für die Ausrüstung der elektrischen Prüfämter zu einer Broschüre vereinigt, im Verlag von J. Springer in Berlin zur Ausgabe gelangen konnte.

Die Eröffnung eines elektrischen Prüfamts in Ilmenau, welches an die dortigen Präzisionstechnischen Anstalten angegliedert worden ist, sowie die eines Prüfamts in Hamburg, das in dem dortigen Physikalischen Staatslaboratorium errichtet ist, wurde durch Erlass des Hrn. Reichskanzlers verfügt (vgl. *Centralblatt f. d. Deutsche Reich 1902. Nr. 10*).

Ferner steht die Eröffnung elektrischer Prüfämter in München (durch den Stadtmagistrat), in Nürnberg (durch das Königl. Gewerbemuseum), in Frankfurt a. M. (durch den Stadtmagistrat), sowie in Chemnitz bevor.

B. Abtheilung I.

***I. Thermische Arbeiten*[2]).**

1. Gase bei geringem Druck[3]).

Die Versuche, durch welche in erster Linie das Verhalten des Wasserdampfes bei Zimmertemperatur bestimmt werden sollte und deren Anordnung im vorjährigen Thätigkeitsbericht beschrieben ist, haben für Wasserdampf zu keinem quantitativen Ergebniss geführt. Die etwa vorhandene Abweichung vom Boyle-Mariotte'schen Gesetze wurde durch einen zeitlichen Gang im Drucke der eingeschlossenen Dampfmasse überdeckt, dessen Sinn von der Natur der unmittelbar vorangegangenen Druckänderung abhing und der jedenfalls auf den Einfluss der Wände zurückzuführen ist. Auf dieselbe Fehlerquelle sind wohl auch die Angaben anderer Beobachter zurückzuführen, welche bei geringen Drucken starke Abweichungen bei Wasserdampf fanden.

Dagegen führten die ebenfalls vorgesehenen Versuche mit Sauerstoff zu dem bestimmten Ergebnisse, dass der von Bohr beobachtete Sprung im Verhalten des Sauerstoffs bei einem Drucke von 0,7 *mm* in der angegebenen Grössenordnung nicht vorhanden war, wenn auch einige gegen die Rechnung übrig bleibende Fehler den erwarteten Betrag überschritten. Dasselbe Resultat ergab sich auch bei veränderter Versuchsanordnung unter starker Vergrösserung des Einflusses der Wände (Anh. Nr. 1 u. 2).

Es ist noch hervorzuheben, dass fast gleichzeitig von Lord Rayleigh dasselbe Ergebniss mit noch kleineren Versuchsfehlern veröffentlicht wurde. Doch ist daraus nicht zu schliessen, dass das von Lord Rayleigh konstruirte Manometer dem hier benutzten

[1]) Auszug aus dem dem Kuratorium der Reichsanstalt im März 1902 erstatteten Thätigkeitsbericht.

[2]) Im Folgenden sind die Namen derjenigen Beamten, welche die betreffenden Arbeiten ausgeführt haben, in Anmerkungen zu den einzelnen Nummern des Textes aufgeführt.

[3]) Thiesen.

überlegen sei. Vielmehr würde wahrscheinlich das Rayleigh'sche Manometer bei ungünstigerer Aufstellung versagen, während andererseits die bei Nacht ausgeführten Messungen über die Spannung des Wasserdampfes bei 0° gezeigt hatten, dass das hier benutzte Manometer unter günstigeren Bedingungen mit Sicherheit eine auf 0,001 *mm* genaue Messung gestattet. Dagegen hat sich herausgestellt, dass die vom Strassenverkehr herrührende Unruhe nicht nur den zufälligen Beobachtungsfehler vergrössert, sondern auch systematische Fehler herbeiführen kann, da erstens, wie leicht verständlich, die Einstellung sich systematisch mit der Unruhe ändert, zweitens aber auch die beiden Kammern des Manometers in verschiedener, sich nicht gleich bleibender und auch nicht nur von dem Stande des Quecksilbers abhängiger Weise beeinflusst werden. Es kommt dazu, dass bei grösserer Unruhe auch der für eine gute Beobachtungsreihe nothwendige gleiche Zeitraum zwischen den einzelnen Einstellungen nicht innegehalten werden kann.

2. Spannung des Wasserdampfes bei 50°[1]).

Auch diesmal haben die langwierigen, durch einige Unfälle unterbrochenen Versuche, eine der wechselnden Temperatur standhaltende völlige Dichtung der Manometerkästen herbeizuführen, keinen Erfolg gehabt. Es soll nun wieder auf Glaskästen zurückgegriffen werden.

3. Ausdehnung des Wassers bis 100°[2]).

Die Vorbereitungen, um die früher bei Temperaturen zwischen 0° und 40° durchgeführte Bestimmung der Wasserausdehnung nach der absoluten Methode der kommunizirenden Röhren jetzt durch Versuche bis zu 100° zu ergänzen, sind vollendet. Es hat ein grosser Theil des früher benutzten Apparates Verwendung gefunden, doch mussten auch zahlreiche Aenderungen getroffen werden, die durch die veränderten Bedingungen und die gemachten Erfahrungen geboten wurden.

Von den beiden Wasserbädern ist das eine zur Heizung mit Dämpfen eingerichtet worden. Das kommunizirende Röhrensystem mit einem entsprechend vergrösserten Wassermanometer ist neu hergestellt worden; der Nullpunkt des Manometers kann jetzt nicht mehr wie früher durch Wechsel der Temperatur zwischen den Bädern eliminirt, dafür aber durch direkte Kommunikation zwischen den Kammern bestimmt werden. Die kommunizirenden Röhren haben jetzt innerhalb der Bäder keine Löthung; dies hat sich nachträglich als besonders wichtig herausgestellt, weil eine bei der Demontirung des älteren Apparates aufgefundene zweifelhafte Löthung die Vermuthung nahelegt, dass die bei den früheren Versuchen festgestellte geringe Verunreinigung des Wassers nicht von dem Material des Röhrensystems, sondern von dem Eindringen einer kleinen Menge Wasser aus dem einen Bade in das Röhrensystem herrühren konnte. Um bei den höchsten Temperaturen die Entwickelung von Dampf im oberen Theile des Röhrensystems sicher zu verhüten, ist Vorsorge getroffen, im Wassermanometer komprimirte Luft von genügend genau bekanntem Druck halten zu können.

4. Manometer[3]).

Das gebrochene Manometer für 20 Atmosphären, dessen zahlreiche, schwer zugängliche Dichtungen seine Anwendung sehr erschwerten, ist unter wesentlicher Vereinfachung umgeändert worden. Es soll zunächst mit dem Druckmesser für höhere Drucke verglichen und dann zur weiteren Untersuchung der Dichte des Wasserdampfes benutzt werden.

5. Ausdehnung von Porzellan und Glas in hoher Temperatur[4]).

Die Bestimmung der Ausdehnung von Berliner Porzellan und Jenaer Glas 59^{III} in hoher Temperatur ist zu Ende geführt und veröffentlicht (Anh. Nr. 3). Der Träger für die Mikroskope bestand aus Nickelstahl. Im Mittel ergab sich für zwei Porzellanstäbe zwischen 0° und 625° für die Ausdehnung λ

$$10^9 \lambda = 3107\,t + 1{,}057\,t^2.$$

In der Nähe von 700° ist die Zunahme der Ausdehnung geringer und steigt dann oberhalb 800° wieder schneller an, eine Erscheinung, die auf eine Zustandsänderung des Porzellans hindeutet. Die Messungen ergaben für $10^9\,\lambda/t$

[1]) Thiesen.
[2]) Thiesen.
[3]) Thiesen.
[4]) Holborn, Grüneisen.

bei 750°	3753
875°	4046
1000°	4311.

Zwei hinreichend gekühlte Stäbe aus Jenaer Glas 59^{III} ergaben im Mittel zwischen 0° und 500°

$$10^9 \lambda = 5833\,t + 0{,}882\,t^2.$$

6. Ausdehnung von Kupfer, Messing, Aluminium und Eisen in hoher Temperatur[1].

Bei den Kupfer- und Messingstäben wurden die Theilstriche auf eingeschobenen Silberplättchen angebracht. Die Ausdehnung von Kupfer, welche bis 625° untersucht wurde, lässt sich sehr genau durch die quadratische Funktion

$$10^9 \lambda = 16070\,t + 4{,}030\,t^2$$

darstellen. Der Stab von 487 *mm* Länge zeigte nach jeder Erhitzung eine dauernde Verlängerung von 0,01 bis 0,02 *mm*.

Im Anschluss an Messungen für technische Zwecke wurden zwei Messingstäbe untersucht. Die Ausdehnung des ersten Stabes, der 61,5 % Kupfer, 37,9 % Zink und 0,4 % Blei enthielt, vollzieht sich zwischen 0° und 427° in Uebereinstimmung mit der Formel

$$10^9 \lambda = 17487\,t + 8{,}767\,t^2.$$

Erhitzt man den Stab oberhalb der angegebenen Temperaturgrenze andauernd, so verlängert er sich, ohne dass eine merkbare Erweichung und Verbiegung eintritt, bei *konstant gehaltener* Temperatur bleibend. Als er 5 Stunden lang auf 500° gehalten wurde, betrug die Verlängerung während der ersten ¾ Stunden 0,073 *mm*, während der letzten 0,075 *mm*, es war also eine merkbare Abnahme der Ausdehnung während dieser Zeit nicht zu konstatiren. Nach dem Abkühlen zeigte der Stab bleibende Verlängerungen, die grösser waren als die bis 500° beobachteten Gesammtverlängerungen; erhitzte man aber den Stab, statt ihn von 500° aus sich abkühlen zu lassen, erst auf 625° und darüber, so waren die bleibenden Verlängerungen geringer als vorher. Der Punkt, bei welchem die Ausdehnung bei konstanter Temperatur beginnt, fällt ziemlich mit dem Schmelzpunkt des Zinks (419°) zusammen.

Ein zweiter Stab aus Rothguss (84,1 % Kupfer, 8,7 % Zink, 6,2 % Zinn und 0,7 % Blei) zeigte diese Erscheinung nicht, offenbar weil sein Zinkgehalt geringer ist.

Da die Oberfläche des Aluminiums sich beim Erhitzen bis auf 625° nicht ändert, so konnte hier die Theilung direkt auf dem Stabe angebracht werden. Sie liess sich bei allen beobachteten Temperaturen vorzüglich ablesen. Die Ausdehnung des Aluminiums wird schon in dem Temperaturintervall von 0° bis 500° nicht mehr durch eine quadratische Funktion ausgedrückt, obgleich die einzelnen Beobachtungsreihen bis auf weniger als ⅓ % untereinander übereinstimmen. Die Erwärmung auf 600° hatte grosse bleibende Verlängerungen bis zu 1 *mm* (bei 484 *mm* Stablänge) zur Folge. Es ergab sich für $10^9 \lambda / t$

bei 250°	24 470
375°	26 210
500°	27 100
610°	28 930.

Die Eisenstäbe wurden von Hrn. Baudirektor v. Bach zur Verfügung gestellt. Von einer Sorte Schweisseisen (*Sch*) und einer Sorte Flusseisen (*Fl*) kamen je zwei Stäbe, von einer Sorte Flussstahl (*St*) und drei Sorten Gusseisen (*G. K.*, *A* und *B*) kam je ein Stab zur Untersuchung. Die Theilung wurde auf Platinplättchen angebracht, die in den Stab eingeschoben wurden.

Da zunächst die Ausdehnung des Eisens in dem Intervall von 0° bis 500° zu bestimmen war, so musste jede Untersuchung mit einer Beobachtungsreihe begonnen werden, die bei 500° endete; erst bei der zweiten Beobachtungsreihe wurde diese Temperatur überschritten.

[1]) Dittenberger, Gehrcke.

Die Resultate der einzelnen Messungsreihen an demselben Stabe stimmen hier nicht so gut überein, als bei den vorher untersuchten Materialien, doch bleiben die Abweichungen im Durchschnitt kleiner als 1 %. Bei den Stäben Fl_2 und *G.K.* traten in der Nähe von 625° erhebliche Unregelmässigkeiten auf, indem die Ausdehnung von 500° bis 625° in zwei auf einander folgenden Beobachtungsreihen ungleich, und zwar beim zweiten Mal um 0,3 bezw. 0,4 *mm* grösser gefunden wurde als beim ersten Mal. Diese letzteren grösseren Werthe sind bei den folgenden Zusammenstellungen ausser Betracht geblieben.

Die Ausdehnungsbestimmungen am schmiedbaren Eisen ergaben die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werthe von $10^9 \lambda/t$.

	Fl_1	Fl_2	Sch_1	Sch_2	St
250°	12 720	12 820	12 840	12 860	12 570
375	13 530	13 590	13 410	13 530	13 270
500	14 100	14 090	13 990	14 060	13 820
625	14 550	14 660	—	14 610	14 340
750	14 580	14 590	14 740	14 880	13 290

In der letzten Spalte sind die Resultate der Beobachtungen an Flussstahl (*St*) angegeben. Die bleibenden Längenänderungen betrugen bei den Stäben Fl_2 und Sch_2 höchstens 0,033 *mm*, am Stabe Fl_1 waren sie grösser. Der Stab *St* zeigte in Folge der Erhitzung auf 750° eine bleibende Verlängerung von 0,084 *mm*.

Die Ausdehnung des Gusseisens ist erheblich geringer als die des Schmiedeeisens, wie die folgende Tabelle der Werthe $10^9 \lambda/t$ für die drei untersuchten Gusseisenstäbe zeigt.

	G.K.	*A*	*B*
250°	11 160	11 320	11 290
375	11 970	12 100	12 210
500	12 570	12 870	12 820
625	13 290	13 330	—
750	—	14 200	—
875	—	14 910	—

Beim Gusseisen traten in Folge der Erhitzung auf 750° bleibende Verlängerungen von 0,4 *mm* und darüber auf.

7. Optisches Pyrometer[1]).

Vorversuche, Temperaturen durch die Photometrie einer homogenen Strahlung nach dem Vorgang von E. Becquerel und Le Chatelier mit Hülfe einer konstanten Vergleichsflamme zu messen, führten zu wenig befriedigenden Ergebnissen, weil verschiedene Stellen der Vergleichsflamme grosse Helligkeitsunterschiede aufwiesen. Es wurde deshalb ein neues photometrisches Verfahren angewandt, das zugleich den Vortheil grösserer Einfachheit bot. Die Methode ist in ihren Grundzügen veröffentlicht (Anh. Nr. 4; vgl. auch das Referat in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 55. 1902*).

Man projizirt einen elektrisch geglühten Draht oder Kohlebügel auf den leuchtenden Körper, dessen Temperatur gemessen werden soll, und variirt die Stromstärke so lange, bis die hellste Stelle des Drahts oder Kohlebügels verschwindet. Ist dann zuerst mit Hülfe eines Körpers von bekannter Temperatur die Stromstärke bei verschiedenen Helligkeiten bestimmt, so lässt sich rückwärts die Temperatur eines leuchtenden Körpers durch die Messung einer Stromstärke bestimmen. Hierbei ist natürlich vorausgesetzt, dass nur Körper von gleichem Emissionsvermögen verglichen werden.

Als Normalkörper für die Aichung dient der schwarze Körper. Da in der Technik meistens die Temperaturmessung an geschlossenen Oefen stattfindet, deren Strahlung dem

[1]) Holborn, Kurlbaum.

schwarzen Körper nahezu gleichkommt, so giebt die Messung hierfür richtige Werthe. Es schliesst dies nicht aus, dass man das Verfahren auch auf Körper von geringerem Emissionsvermögen, z. B. auf blanke Metalle, anwenden kann, sobald deren Abweichung vom schwarzen Körper besonders bestimmt worden ist.

Für den elektrisch geheizten Vergleichsdraht wurde zuerst Platiniridium verwandt, später wurden 4-Volt-Lampen mit kleinem Kohlebügel vorgezogen. Zahlreiche Vergleichungen mit dem schwarzen Körper bis 1500° haben ergeben, dass sich solche Lampen bei längerem Gebrauch hinreichend konstant halten, wenn sie vorher längere Zeit bei der höchsten zulässigen Temperatur gebrannt haben.

Die Stromstärke kann genau genug durch eine quadratische Funktion der Temperatur ausgedrückt werden, sodass drei Punkte für eine Aichung genügen. Die relative Genauigkeit der Einstellung verschiedener Beobachter erreicht unterhalb 1000° etwa 2°, höher hinauf ist die Einstellung unsicherer. Immerhin dürfte das Verfahren von 700° an bis zu der in der Technik nur selten überschrittenen Grenze von 1800° auch für den weniger geübten Beobachter eine für technische Zwecke ausreichende Genauigkeit ergeben.

Es ist nicht überflüssig, besonders hervorzuheben, dass die Methode innerhalb dieser Grenzen kein Strahlungsgesetz benutzt. Hiervon macht man erst dann Gebrauch, wenn die zu messende Temperatur über 1800°, die Grenze für die Konstanz der Glühlampen, wesentlich hinausgeht. Alsdann muss man die Helligkeit der zu messenden Strahlung durch Absorption oder Reflexion schwächen und eine neue Temperaturskale aus dem Strahlungsgesetz berechnen. Wie weit dies auf die immerhin nicht sehr homogene Strahlung anwendbar ist, die ein farbiges Glas liefert, welches an Stelle der spektralen Zerlegung zur Verwendung kommt, ist bei jenen höchsten Temperaturen zunächst wohl nur Definitionssache.

Bei den bis jetzt angestellten Vergleichungen mit dem schwarzen Körper bis 1500° ergab die Einstellung des Kohlebügels keine Abhängigkeit von der Farbe. Die Lampenkohle ist demnach in dem benutzten Spektralgebiet ein grauer Körper; wie weit sie vom schwarzen Körper abweicht, kann hieraus noch nicht geschlossen werden.

Beispielsweise wurden mit dem Pyrometer an der Anthrazit-Feuerung eines Dampfkessels der Reichsanstalt einige Temperaturen näherungsweise gemessen. Man sah durch ein Schauloch der Ofenthür von 18 *mm* Durchmesser, das von der dahinter befindlichen Kohlengluth ausgefüllt erschien. Unter der Voraussetzung, dass die Strahlung der Kohle „schwarz" ist, wurde an ihrer dem Kessel zustrahlenden Oberfläche eine Temperatur von 1030° gefunden. Unmittelbar nach dem Schüren las man 1150° ab; die Temperatur ging dann aber schnell auf 1080° und allmählich tiefer hinab. Sah man ferner in ein 4 *cm* weites Gasrohr, das auf einer Länge von 28 *cm* schräg in die Feuerung eingebettet war, so wurde für den Boden des Rohres bis 1330° gemessen. Diese Temperatur sank bis auf 1260°, wenn durch Oeffnen der Thür am benachbarten Flammenrohr der Zug nachliess.

8. Platinwiderstände[1]). Die bisher für die Messung tiefer Temperaturen benutzten Platinwiderstände sind nunmehr auch in höherer Temperatur bis 500° an das Stickstoffthermometer angeschlossen, nachdem vorher das Material des Gasgefässes auf seine Ausdehnung bis zu dieser Temperatur untersucht war. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anh. Nr. 5). Für zwei Platinsorten gelten die Formeln

$$W = W_0\,(1 + 0{,}003923\,t - 0{,}000000585\,t^2)$$
$$W = W_0\,(1 + 0{,}003966\,t - 0{,}000000582\,t^2)$$

in den Grenzen von $-100°$ bis $+500°$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0{,}15°$. Weiter nach unten treten Abweichungen auf, die bei der Temperatur der flüssigen Luft schon über 2° betragen.

Die Vergleichungen zwischen Gasthermometer und Platinwiderständen werden fortgesetzt, nachdem diese Widerstände Zuleitungen aus Silber statt Platin erhalten haben, wodurch die Thermoströme wesentlich herabgedrückt wurden.

[1]) Holborn, Henning.

9. Wärmeleitung[1]).

Ueber die Messung der Wärmeleitung an Metallstäben in der Nähe der Siedetemperatur der flüssigen Luft liegen bis jetzt nur orientirende Versuche vor.

10. Veränderte Methoden zur Bestimmung des Leitverhältnisses[2]).

Insbesondere für Messungen bei tiefen Temperaturen oder auch für solche an seltenen Materialien ist es wünschenswerth, eine Methode zu besitzen, welche mit kleinen Dimensionen zu arbeiten erlaubt. Man kann versuchen, die Anwendung der Thermoelemente, für deren genaue Ortsbestimmung die grosse Form der früher benutzten Stäbe erforderlich ist, zu vermeiden, indem man den untersuchten Metallstab selbst als Widerstandsthermometer benutzt, wie es z. B. Herwig und Callendar bereits gethan haben. In sehr einfacher Weise gelingt dies auf Grund des folgenden, mittels der von Kohlrausch aufgestellten Beziehung zwischen Temperatur und Potential theoretisch herzuleitenden Satzes: „Der Widerstand eines elektrisch geheizten Körpers von beliebiger Gestalt ist gleich dem Widerstand desselben Körpers bei konstanter Temperatur multiplizirt mit einem Faktor, der nur vom Potential und den beiden Leitvermögen des Materials, dagegen nicht von der Gestalt abhängt“.

Es mögen an einem Körper bei konstanter Elektrodentemperatur zwei Widerstandsmessungen ausgeführt werden. Die eine mit starkem Strom unter Anlegung des an den Drähten P zu messenden Potentials v_1 liefere den Widerstand w_1, die zweite mit schwachem Strom unter Anlegung des Potentials v_2 liefere den Widerstand w_2. Dann erhält man das Leitverhältniss (Wärme : Elektrizität)

$$\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{1}{12}\,\alpha\,\frac{v_1^2 - v_2^2}{(w_1/w_2) - 1}.$$

α ist der auf die Versuchstemperatur bezogene Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes, der ohne Weiteres in derselben Anordnung bestimmt werden kann. Die Konstanz der Elektrodentemperaturen, bezw. ihre in Rechnung zu setzende Aenderung, wird durch die Thermoelemente T festgestellt Eine geeignete Versuchsanordnung zeigt die Fig. 1. Ueber die Einschnürung ist zum Wärmeschutz ein Glas- oder ein Kautschukrohr gekittet. Das Ganze wird in ein Bad getaucht.

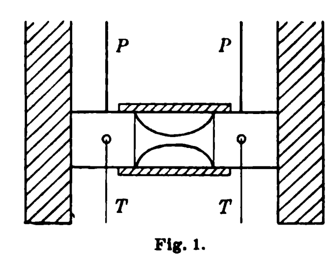
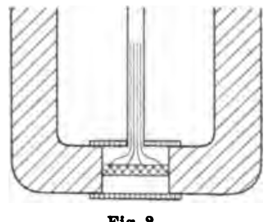


Fig. 1.

Die äussere Wärmeleitung ist bei der Methode nicht berücksichtigt. Indessen lässt sich leicht zeigen, dass wegen der kleinen Oberfläche ihr Einfluss sehr gering ist.


Fig. 2.

Eine andere Ausgestaltung der Methode lässt die Anwendung der Thermoelemente auch an den Enden vermeiden und gestattet zugleich, mit noch geringeren Mengen des Materials, etwa einem Drahtstück, auszukommen (vgl. Fig. 2).

Man giebt dem zwischen starke Kupferbacken gelötheten Versuchskörper vier Zuleitungen (aus sehr dünnem Manganindraht, um Wärmeableitung zu vermeiden). Durch Abfeilen bewirkt man, dass die Widerstände der beiden äusseren Abschnitte unter sich und ebenso die Widerstände zwischen den äusseren Drähten und den Kupferbacken unter sich nahe gleich sind. Wenn man dann Widerstand und Potential zwischen den äusseren Drähten mit W und V und zwischen den inneren mit w und v bezeichnet und wie früher zwei Widerstandsmessungen mit starkem und schwachem Strom durch die Indizes 1 und 2 unterscheidet, so erhält man das Leitverhältniss nach folgender Formel:

$$\frac{\lambda}{\varkappa} = \frac{1}{24}\,\alpha\,\frac{(V_1^2 - v_1^2) - (V_2^2 - v_2^2)}{\frac{W_2}{w_2}\cdot\frac{w_1}{W_1} - 1}.$$

α ist wieder der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes.

[1]) Jaeger, Diesselhorst.

[2]) Diesselhorst.

Zur Umhüllung des Stäbchens ist über die Kupferbacken ein der Länge nach zerschnittenes Glasrohr gekittet. Die obere Hälfte des letzteren trägt ein Ansatzrohr, in welchem die Potentialdrähte nach aussen geführt werden. Der fertige Apparat kann leicht in ein Bad von beliebiger Temperatur getaucht werden.

Bisher wurden Vorversuche zur zweiten Methode angestellt, die zu einer fortschreitenden experimentellen Verbesserung führten. Vor Allem wurde festgestellt, dass die kleinen Widerstandsabschnitte hinreichend unveränderlich und messbar sind, sodass eine befriedigende Genauigkeit erreicht werden kann. Besonders für tiefe Temperaturen sind günstige Resultate zu erwarten, weil dort der relative Temperaturkoeffizient α sehr gross ist, die Methode also empfindlicher wird. Es versteht sich, dass bei Legirungen mit sehr kleinem Temperaturkoeffizienten die Anwendung der Methode ausgeschlossen ist.

11. Arbeiten mit dem Fizeau-Abbe'schen Dilatometer[1].

Das früher beschriebene Erwärmungsgefäss mit Dampfheizung hat sich auch weiter gut bewährt und weist im Innern eine Temperaturkonstanz des Luftraumes von etwa 0,01° auf. Um ohne Erschütterung des ganzen Aufbaues von einer Temperatur zur anderen übergehen zu können, wurden zwei mit verschiedenen Flüssigkeiten beschickte Siedegefässe angeordnet, von denen durch einfache Umschaltung eines Dreiweghahnes das eine an Stelle des anderen mit dem Erwärmungsgefässe verbunden werden kann. Als Siedeflüssigkeiten dienten Wasser (100°) und Azeton (56° bis 57°); die Beobachtungen wurden mit denen bei Zimmertemperatur kombinirt.

Schwierigkeiten begegnete eine genügend genaue Bestimmung der Temperatur des den Fizeau'schen Apparat umgebenden Luftraumes mit Quecksilberthermometern, welche schliesslich auch als aussichtslos aufgegeben werden musste. Dagegen führte eine andere Methode zum Ziel, welche darin bestand, dass man die Temperatur im Siedegefäss mittels eines ganz in Dampf eintauchenden Quecksilberthermometers beobachtete und gleichzeitig den Temperaturunterschied zwischen Siedegefäss und Luftraum durch ein Thermoelement ermittelte.

Im vorigen Bericht war es als nöthig hingestellt, durch federnde Fassungen die Quarzdeckplatte mit leichtem Druck auf den Quarzhohlring aufzupressen, da sonst bei der Erwärmung oder Abkühlung, wahrscheinlich durch die ungleichmässige Temperaturänderung des Systems, gegenseitige Verschiebungen eintraten. Versuche nach dieser Richtung haben nicht den erwünschten Erfolg gehabt, weil es nicht möglich war, den Druck auf die drei Auflagepunkte des Quarzringes gleichmässig zu vertheilen. Dagegen ergab die direkte Beschwerung der Quarzplatte mittels eines ringförmigen Gewichtes ein zufriedenstellendes Resultat, wenn auch hierbei die Unbequemlichkeit entsteht, dass brauchbare Messungen erst nach mehrfacher abwechselnder Abkühlung und Erwärmung auf 100° gewonnen werden können.

Die nach der letzteren Methode ausgeführte Messung der relativen Ausdehnung von Platin und Quarz (parallel zur Achse) ergab als Resultat

$$l_t = l_0\,(1{,}671\,t - 0{,}00622\,t^2)\,10^{-6}$$

mit einer Genauigkeit von etwa 3 Einheiten der letzten angegebenen Stelle, entsprechend etwa einem Hundertel der Streifenbreite gleich 0,004 μ. Diesem Werth steht das von Benoît beobachtete Resultat

$$l_t = l_0\,(1{,}740\,t - 0{,}00680\,t^2)\,10^{-6}$$

gegenüber, nach welchem sich die relative Ausdehnung von Platin und Quarz zwischen 0° und 100° für 1 *m* um etwa 1 μ grösser berechnet.

12. Kleine elastische Verschiebungen[2].

Elastische Gestaltsänderungen sind im Allgemeinen bisher nicht bis zu den kleinsten noch messbaren Grössen verfolgt worden. Um festzustellen, ob das Hooke'sche Gesetz der Proportionalität zwischen Deformation und Kraft in der Beschränkung, in welcher es von der Physik als streng gültig angesehen wird, nämlich gerade in dem Grenzfall sehr kleiner Verschiebungen, wirklich genau gilt, wurden Durchbiegungen nach der von Kirchhoff

[1]) Scheel.

[2]) Kohlrausch, Grüneisen.

stammenden Methode der Spiegelung, aber an hochkant stehenden Stäben beobachtet, welche also ursprünglich ihre natürliche Grösse besassen. Durch die Versuche wird die oben genannte Annahme bestätigt. Auch an Gusseisen, welches stärker deformirt beträchtlich von der Proportionalität abweicht, näherte sich das Verhältniss zwischen Kraft und Verschiebung mit abnehmender Grösse der letzteren merklich einem konstanten Grenzwerthe (Anh. Nr. 8).

II. Elektrische Arbeiten.

1. Normalwiderstände [1]).

Zum Bericht kommen diesmal zwei Vergleichungen der Widerstandsnormale von Abtheilung I und II, nämlich aus dem März 1901 und (als die zehnte Vergleichung seit Oktober 1892) diejenige aus dem Januar 1902. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle mit einer Auswahl früherer Resultate zusammengestellt. Für März 1901 und Januar 1902 ist dabei die Annahme gemacht, dass sich der Mittelwerth der sieben Manganinwiderstände nicht geändert hat. Die relativen Aenderungen der Büchsen sind, wie man sieht, sehr gering; auch hat eine im vorigen Jahre durchgeführte Vergleichung der Manganinwiderstände von Abtheilung I mit den zwölf Quecksilberkopien keine relative Aenderung zwischen diesen beiden Arten von Widerständen erkennen lassen. Die Werthe sind in internationalen Ohm bei 18° C. angegeben.

Nr.	148a	149a	150a	151	22	139	1_A	1_C
	M	M	M	M	P	M	M	M
Temp.-Koeff. (in Millionteln)	+ 19	+ 15	+ 6	+ 21	+ 207	+ 31	+ 20	+ 20
Oktober 1892	1,012 157	—	0,998 560	0,997 678	0,996 887	0,997 762	—	—
Januar 1896	152	0,998 575	541	690	—	792	0,999 890	0,999 937
März 1901	160	591	525	716	874	816	903	945
Januar 1902	156	593	517	712	883	824	904	949

M = Manganin. P = Patentnickel.

2. Messung kleiner Widerstände [2]).

Die im Arbeitsplan stehende Messung kleiner Widerstände wurde am Schluss des vorigen Jahres vorgenommen und zwar an den Normal-(Manganin-)Widerständen von Abtheilung II, die zur Prüfung der eingesandten Widerstände dienen. Diese Messung ist kurz darauf in Abtheilung II unabhängig davon ausgeführt worden in möglichst unmittelbarem Anschluss an die jetzt erfolgte Vergleichung der Widerstände von 1 Ohm. Die Uebereinstimmung der beiderseitigen Resultate, die im Folgenden zusammengestellt sind, ist sehr zufriedenstellend; die kleinen Differenzen von einigen Millionteln des Werthes liegen vollständig innerhalb der Beobachtungsfehler. Die wieder in internationalen Ohm bei 18° ausgedrückten Werthe sind bis auf ein Milliontel ihres Betrages angegeben, auch bei der Büchse von 0,0001 Ohm. Die letzte Stelle ist also in diesem Fall 1×10^{-10} Ohm.

Nr.	$0{,}1_A$	$0{,}1_B$	$0{,}01_A$	$0{,}01_B$	$0{,}001_A$	$0{,}001_B$	$0{,}0001_C$
Abth. I, Dez. 1901	0,0999606	0,1000002	0,01000211	0,00999996	0,000999650	0,000999715	0,0001000232
Abth. II, Febr. 1902	609	007	208	993	654	720	208
Differ. I—II (in Millionteln des Werthes)	— 3	— 5	+ 3	+ 3	— 4	— 5	+ 24[3])

Die früheren Werthe dieser Büchsen (mit Ausnahme von $0{,}0001_C$) vom Oktober 1895 an, aus denen sich auch ihre gute Konstanz ergiebt, sind zu ersehen aus der Mittheilung in *dieser Zeitschr.* ***18.*** *S. 105. 1898.*

[1]) Jaeger, Diesselhorst.

[2]) Jaeger, Diesselhorst.

[3]) Bei diesen Messungen war die benutzte Stromstärke z. Th. nicht ausreichend zur Erzielung derselben Messgenauigkeit wie bei den grösseren Widerständen.

3. Verwendbarkeit der Deprez-d'Arsonval-Galvanometer.

Diese unter *1.* und *2.* angeführten Messungen sind alle mit einem Deprez-d'Arsonval-Galvanometer von Siemens & Halske mit 20 Ohm Spulenwiderstand durchgeführt, nachdem vorher über die Verwendbarkeit der verschiedenen Typen dieser von äusseren magnetischen Störungen freien Instrumente eingehende theoretische und experimentelle Untersuchungen angestellt worden waren. Die hierbei erhaltenen Resultate sollen demnächst veröffentlicht werden. Es hat sich gezeigt, dass die Widerstandsmessungen mit den jetzt vorhandenen Typen dieser Galvanometer gut ausgeführt werden können und dass diese, mit kleinen Aenderungen, auch für ballistische Messungen, wie sie im magnetischen Laboratorium der Abtheilung II angestellt werden, geeignet sind. Auch in den Kombinationen mit dem Kompensationsapparat scheinen sie in den meisten Fällen auszureichen und man wird nur selten genöthigt sein, die ebenfalls störungsfreien, viel empfindlicheren Kugelpanzer-Galvanometer von du Bois und Rubens verwenden zu müssen.

Doch ergaben sich einige Schwierigkeiten bei der erschütterungsfreien Aufhängung obiger Galvanometer. Die gewöhnliche Julius'sche Aufhängevorrichtung mit drei Drähten erwies sich als unzweckmässig, dagegen gelang es, das Galvanometer durch Aufhängen an einem bezw. zwei Drähten und entsprechende Dämpfung relativ erschütterungsfrei zu erhalten[1]).

4. Normalelemente.

Ueber die an Normalelementen in letzter Zeit hauptsächlich in Verbindung mit dem Schwachstrom-Laboratorium der Abtheilung II angestellten Messungen[2]) ist im Berichtsjahr eine ausführliche Mittheilung (Anh. Nr. 9) erschienen, in der auch der Nachweis erbracht ist, dass die Behauptung von E. Cohen über die Unbrauchbarkeit der Kadmiumelemente nicht zutrifft. Die Versuche im vergangenen Jahr erstreckten sich im Wesentlichen auf das elektromotorische Verhalten verschiedener Sorten von Merkurosulfat; Näheres hierüber vgl. weiter unten in dem Bericht von Abtheilung II.

Im Zusammenhang mit dieser Frage stehen Messungen in der Abtheilung I über die Löslichkeit des Merkurosulfats in reinem Wasser und in Kadmiumsulfatlösung verschiedener Konzentration[3]). Die Löslichkeit des Merkurosulfats in Kadmiumsulfatlösung zeigt bei einer geringen Konzentration der letzteren ein Minimum und wächst bei steigender Konzentration bedeutend an, sodass beispielsweise die Löslichkeit in gesättigter Kadmiumsulfatlösung (25°) etwa 30×10^{-4} Gramm-Mol. Hg_2SO_4 im Liter beträgt, das Dreifache der Löslichkeit in reinem Wasser. Verschiedene Sorten von Merkurosulfat zeigen etwas verschiedene Löslichkeit, wodurch ihr abweichendes elektromotorisches Verhalten zum Theil bestätigt wird.

Versuche an Clark-Elementen, welche die Berechnung der Lösungswärme sowie der Löslichkeit des Zinksulfats aus Beobachtungen über die Kurven der elektromotorischen Kraft bei Elementen mit verdünnter Lösung und bei solchen mit einem Ueberschuss von Krystallen zum Zweck hatten[4]), sind kurz mitgetheilt worden (Anh. Nr. 10). Nachdem die Versuche noch weiter geführt sind, sollen diese Messungen jetzt eingehend veröffentlicht werden.

5. Löslichkeit des Bromsilbers und des Jodsilbers im Wasser[5]).

Frühere über die sehr geringe Löslichkeit dieser Silberhaloide angestellte Versuche unterliegen mehreren Bedenken. Durch ausgedehnte Vorsichtsmaassregeln in Betreff der Reinheit der Stoffe und der Behandlung des Wassers gelang es, aus dem elektrischen Leitvermögen, welches die Körper dem Wasser ertheilen, ihre Löslichkeit zu ermitteln, nämlich für 21° bei dem Bromsilber zu 0,107 und bei dem Jodsilber zu 0,0035 *mg* im Liter. Diese Zahlen liegen innerhalb der verschiedenen Resultate, welche bisher aus der Elektrodenspannung nach dem Satze von Nernst abgeleitet worden sind (Anh. Nr. 12).

---

[1]) Diesselhorst.
[2]) Jaeger, Lindeck.
[3]) Dolezalek.
[4]) Jaeger.
[5]) Kohlrausch, Dolezalek.

III. Optische Arbeiten.

Nachdem die Gesetze der schwarzen Strahlung aufgefunden sind, wurde das Problem in Angriff genommen, die Temperaturskale mit Hülfe der Strahlungsgesetze festzulegen und bis zu den höchsten Temperaturen auszudehnen.

Ausser diesem Strahlungsproblem ist die Frage nach dem Bau und der Zusammensetzung der sog. „homogenen" Spektrallinien, z. B. der Quecksilber- und Kadmiumlinien, in Angriff genommen worden, welche bei der Auswerthung des Meter in Wellenlängen, bei der Drehung der Polarisationsebene und beim Zeemann'schen Phänomen eine grosse Rolle spielen.

1. Festlegung der strahlungstheoretischen Temperaturskale[1]).

Die gebräuchliche Temperaturskale ist gegründet auf die Eigenschaften der permanenten Gase und ist durch das Gasthermometer festgelegt. Wegen der technischen Schwierigkeiten ist es bisher noch nicht gelungen, die gasthermometrischen Messungen über 1150° C. hinaus durchzuführen. Für die schwarze Strahlung andererseits haben sich mehrere einfache Beziehungen zu dieser Temperaturskale ergeben, welche sich darstellen lassen durch die Gleichungen

$$\int_0^\infty E\,d\lambda = \sigma T^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{I}$$

$$\lambda_m T = A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{II}$$

$$E_m T^{-5} = B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \mathrm{III}$$

wo σ, A und B genau bekannte Konstanten sind. Die Gültigkeit der Beziehungen ist mit Hülfe des von Holborn-Wien bezw. Holborn-Day an das Gasthermometer angeschlossenen Le Chatelier'schen Thermoelements geprüft worden und kann bis etwa 1500° C. als bestätigt angesehen werden. Darüber hinaus versagte der benutzte schwarze Körper, da die verwendete Porzellanmasse weich zu werden beginnt.

Die einwandsfreie theoretische Herleitung und die experimentelle Bestätigung dieser Gesetze lässt wohl keinen Zweifel, dass ihnen die Bedeutung von Naturgesetzen zukommt und dass die mit ihrer Hülfe bestimmte Temperatur für alle erreichbaren Temperaturen mit der von W. Thomson thermodynamisch definirten übereinstimmt. Die verschiedenen Strahlungsgesetze scheinen somit zur Begründung einer neuen „strahlungstheoretischen" Temperaturskale geeignet.

Soweit die extrapolirte Skale des Thermoelements über 1150° C. hinaus sich in Uebereinstimmung mit den Strahlungsgesetzen befindet, ist auch diese Extrapolation als berechtigt anzusehen. Sowohl um die Aichung dieser Elemente bis zu höheren Temperaturen treiben, als auch um die strahlungstheoretische Skale erweitern zu können, musste vorerst die schwarze Strahlung ebenfalls bis zu so hohen Temperaturen dem Experimente zugänglich gemacht werden.

Aus verschiedenen Gründen erschien die Kohle als das geeignetste Material zur Konstruktion hochtemperirter schwarzer Körper. Um die Verbrennung des elektrisch geheizten Kohlerohrs zu verhindern, wird das Kohlerohr in einem möglichst dicht nach aussen abgeschlossenen Luftraum geglüht. Aus umstehender Fig. 3 ist die Konstruktion des neuen Kohlekörpers ersichtlich.

Trotzdem der *innere* zylindrische Hohlraum des Strahlungsrohres mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, gelingt es doch, ein nur 0,8 *mm* dickes Kohlerohr genügend lange Zeit zu glühen, ohne dass die Wandstärke sich wesentlich ändert. Es ist dieser Umstand deswegen günstig, weil dickwandige Rohre bei den zur Verfügung stehenden Stromstärken von 200 Amp. nicht auf die gewünschten hohen Temperaturen zu erhitzen sind.

Nach Konstruktion des Kohlekörpers und Beschaffung der zur Erzeugung, Regulirung und Messung eines Stromes von 200 Amp. nothwendigen Einrichtungen ist der Aufbau in Angriff genommen worden, um die Temperatur des hocherhitzten Kohlekörpers nach *vier* Methoden unmittelbar hinter einander bestimmen zu können. Dazu ist der schwarze Körper auf einem Wagen fahrbar montirt, sodass er folgeweise vor das Diaphragma am Flächen-

[1]) Lummer, Pringsheim.

bolometer, vor den Spalt des Spektrobolometers und vor den Spalt des Spektralphotometers gebracht werden kann. Das Flächenbolometer erlaubt die Verwendung des Stefan-Boltzmann'schen Gesetzes (I). Die Anwendung der Gesetze II und III ist realisirt durch das Spektrobolometer, wobei die erreichte Genauigkeit bei III grösser ist als bei II.

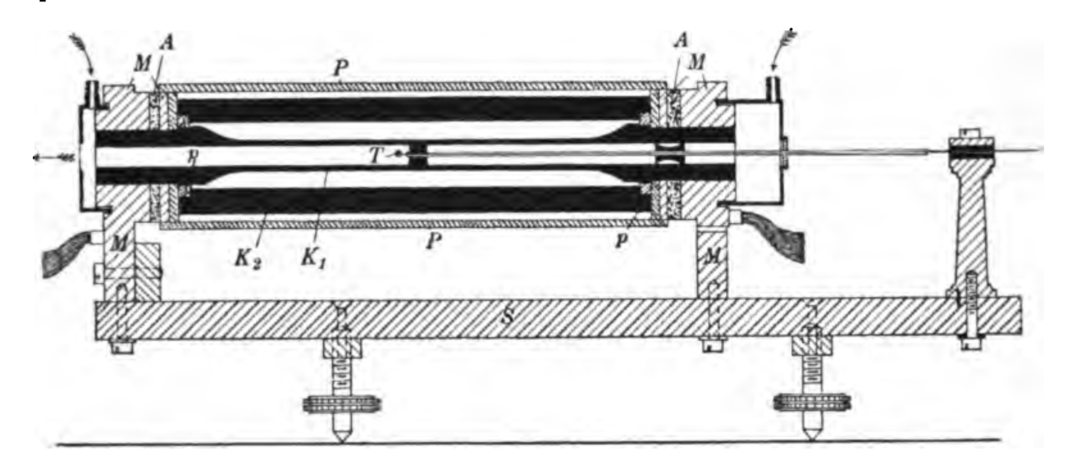


Fig. 3.
K_1 Glührohr, K_2 Schutzrohr aus Kohle; P Porzellanrohr; p Porzellanringe; T Thermoelement; A Asbestscheiben; M Messingtheile; S Schieferplatte.

Der spektral-photometrischen Methode der Temperaturbestimmung liegt zwar kein allgemeingültiges Naturgesetz zu Grunde, jedoch ist die Beziehung, auf der sie beruht, bis 5000° wahrscheinlich gemacht. Ausserdem zeichnet sich diese optische Methode durch zwei wesentliche Vorzüge aus. Einmal kommen kleine Fehler in der photometrischen Einstellung fast gar nicht in Betracht. Ferner aber braucht die Schwärze des Strahlungskörpers keine vollkommene zu sein, um doch noch nahe richtige Temperaturbestimmungen zu liefern (Anh. Nr. 13). Uebrigens erheischt auch die Anwendung des Gesetzes II nur sog. „graue" Körper, während die Gesetze I und III richtige Werthe der Temperatur nur für vollkommen schwarze Körper liefern. Da die Helligkeitsvertheilung im Kohlekörper eine sehr gleichmässige ist, so ist zu erwarten, dass auch die nach allen *vier* Methoden bestimmten Temperaturen bei ihm untereinander übereinstimmen werden. Wenn dies der Fall ist, kann behauptet werden, dass die strahlungstheoretische Skale festgelegt ist bis zu Temperaturen, bis zu denen jene Uebereinstimmung reicht. Bisher ist erst die Aichung der verschiedenen Apparate mit Hülfe eines schwarzen Körpers aus Porzellan in Angriff genommen, dessen Temperatur gleichzeitig durch ein Thermoelement gemessen werden kann.

2. Auflösung feinster Spektrallinien[1]).

Mit den gewöhnlichen Methoden, welche sich der Prismen und Gitter bedienen, lässt sich bekanntlich nicht dieselbe hochgradige Auflösung der Spektrallinien erzielen, wie mittels der Interferenzen. Von den Interferenzstreifen können nur die an planparallelen Platten auftretenden Kurven gleicher Neigung Verwendung finden, da sie allein unabhängig sind von der Grösse der Pupille des beobachtenden Auges. Es handelt sich für den vorliegenden Zweck, feinste Spektrallinien zu analysiren, darum, dass die Bedingungen gefunden werden, unter denen die Interferenzstreifen möglichst fein und scharf sind, d. h. wo der Intensitätsabfall vom Maximum der Intensität zum Minimum ein möglichst steiler und beugungsartiger ist.

Die Theorie der „Kurven gleicher Neigung" ist längst bekannt und identisch mit der von Airy für die Farben dünner Blättchen aufgestellten. Hiernach ist die Intensitätsvertheilung allein durch den Werth des Fresnel'schen Reflexionskoeffizienten bedingt. Die nähere mathematische Diskussion zeigt, dass ein steiler Intensitätsabfall an *grosse* Werthe

[1]) Lummer, Gehrcke.

desselben gebunden ist. Demnach ist die Leistungsfähigkeit der Planparallelitätsringe für den vorliegenden Zweck an die Verwirklichung von Werthen des Reflexionskoeffizienten gebunden, welche so nahe wie möglich gleich 1 sind.

Auf Grund dieser Thatsache haben schon früher die Hrn. Perot und Fabry mit Hülfe einer beiderseitig versilberten, zwischen Glaskörpern gebildeten Luftplatte die Planparallelitätsringe zu spektroskopischen Zwecken herangezogen. Anstatt durch Versilberung lässt sich auch durch Anwendung schräger Inzidenz an einer Glasplatte ein hoher Werth des Reflexionskoeffizienten erreichen. Hierauf ist schon früher (Anh. Nr. 14, 15 u. 26) hingewiesen worden. Es handelte sich jetzt darum, die Methode der schrägen Inzidenz, welche theoretisch vor der von Perot und Fabry gewisse Vorzüge aufweist, konsequent durchzubilden.

Es gelang einmal, durch Einführung von in der Einfallsebene der planparallelen Platte polarisirtem Licht die Auflösungskraft der Planparallelitätsringe zu steigern. Hierbei wurde an dem allein untersuchten, vom Arons'schen Quecksilberbogenlicht ausgesandten Licht eine bedeutend komplizirtere Zusammensetzung der meisten Linien gefunden, als vordem bekannt war. Vor Allem aber wurde durch einen Kunstgriff, welcher in der Einführung eines auf die planparallele Platte PQ aufgekitteten Prismas p beruht (vgl. Fig. 4), die Methode bedeutend verbessert und ihre theoretische, überhaupt mögliche Grenze der Leistungsfähigkeit nahezu erreicht. Hiermit ergaben sich für die Struktur der einzelnen Quecksilberlinien folgende Resultate (Anh. Nr. 16):

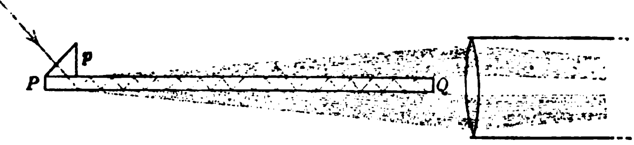


Fig. 4.

1. Gelbe Linie (mehr roth): Eine ziemlich breite Hauptlinie mit 5 deutlich von einander getrennten Trabanten verschiedener Dicke und Helligkeit; ausser der Hauptlinie sieht man unter günstigen Umständen noch 2 Trabanten doppelt.

2. Gelbe Linie (mehr grün): Eine ziemlich feine Hauptlinie, kaum als Hauptlinie vor einem ihr nahe stehenden hellen Trabanten ausgezeichnet, an den sich 3 weitere anschliessen, von denen jeder folgende lichtschwächer ist als der vorhergehende. Ferner ist noch ein breiter, lichtschwächerer Trabant da, der vielleicht doppelt ist.

3. Hellgrüne Linie (am lichtstärksten von allen): Ausser der (wahrscheinlich dreifachen) Hauptlinie 5 deutlich helle und 2 weniger helle Trabanten, von denen einer doppelt zu sein scheint.

4. Dunkelgrüne Linie (lichtschwach): Eine Hauptlinie mit 2 oder mehr neben einander liegenden Trabanten, von denen immer der nächste dunkler ist als der vorhergehende.

5. Blaue Linie: Dieselbe besteht aus einer grösseren Anzahl sehr feiner, scharfer, fast gleichheller Trabanten.

6. Violette Linie (mehr blau und lichtschwach): Eine verwaschene, doppelt erscheinende Hauptlinie.

7. Violette Linie (mehr violett): Eine Hauptlinie, an den Rändern verwaschen, mit einem feinen und einem breiteren Trabanten.

3. Interferenz-Photo- und Pyrometer[1].

Bei diesem neuen Instrument werden als photometrisches Kriterium die sog. Herschel'schen Interferenzstreifen an der Grenze der totalen Reflexion verwendet, welche entstehen, wenn man zwei rechtwinklige Prismen mit ihren Hypotenusenflächen aufeinanderlegt und längs der total reflektirten Strahlen nach einer diffus leuchtenden Fläche oder matten Scheibe blickt. Da diese Interferenzstreifen im durchgehenden und reflektirten Lichte zu einander *komplementär* sind, so müssen sie verschwinden, wenn die beiden diffusen Flächen von gleicher Helligkeit sind.

Die Verwendung dieses Würfels mit und ohne matte Scheiben als Photometer und als Pyrometer ist ausführlich (Anh. Nr. 17) beschrieben worden.

---

[1]) Lummer.

C. Abtheilung II.

I. Präzisionsmechanische Arbeiten[1]).

1. Uebersicht über die Prüfungs- und Beglaubigungs-Arbeiten.

Die wesentlichsten Prüfungs- und Beglaubigungsarbeiten des präzisionsmechanischen Laboratoriums im Jahre 1901 sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Anzahl
Längenmessungen:	
Theilungen auf Silber, Glas, Messing	21
Endmaasse	26
Kaliberkörper (Ringe, Bolzen, Drähte)	12
Polarisationsrohre	3
Sphärometerringe	12
Trägheitskörper	5
Mess- und Theilschrauben, Drehbankspindeln	5
Normale für Mechaniker-Gewinde	62
„ „ Wassermesser-Gewinde	21
Stimmgabel-Prüfungen:	
Stimmgabeln für den internationalen Stimmton	24
„ anderer Tonhöhe	4
Gyrometer-Prüfungen	1
Untersuchungen von Sonnenblumen- und Hollundermark auf Tragfähigkeit unter Wasser	2

2. Längenmessungen.

Die Bestrebungen, die Normaltemperatur 0° des metrischen Systems in die Technik einzuführen, sind fortgesetzt worden und haben zu weiteren Erfolgen geführt. Die Angelegenheit wird jetzt bereits in weiteren Kreisen der Technik, z. B. von dem Verein deutscher Ingenieure, erörtert und ist auch auf der vorjährigen Sitzung des *Comité international des Poids et Mesures* zur Sprache gekommen.

Der Mechaniker H. Bieling in Steglitz ist veranlasst worden, Normaldrähte aus gehärtetem Stahl in den Handel zu bringen, welche als Lehren für Dickenmessungen für die Technik dienen können. Durch derartige Lehren würden die Besitzer von Messwerkzeugen für kleinere Grössen (bis 2 *mm*) ein Mittel erhalten, ihre Instrumente jederzeit auf die Richtigkeit der Angaben selbst zu prüfen, während eine Untersuchung durch die Reichsanstalt nur den augenblicklichen Zustand festlegt, der sich besonders bei Rädermikrometern leicht ändern kann. Die erwähnten Drähte sollen in grösseren Längen an einigen Stellen von der Reichsanstalt geprüft und dann in kürzere Stücke zerlegt werden, sodass die daraus hergestellten Lehren zu geringem Preise lieferbar sein werden.

Die Verhandlungen wegen der Prüfung von Normalen für die Füsse und Fassungen von Edison-Lampen wurden abgeschlossen und die Vorschriften für diese Normale nebst Begründung unter dem 23. Juli 1901 in der *Elektrotechn. Zeitschr.* ***22.*** *S. 647. 1901* veröffentlicht (Anh. Nr. 33). Auch sind die hierin bezeichneten Hülfsmittel für die Prüfung beschafft und auf ihre Richtigkeit untersucht worden.

3. Untersuchung von Kreistheilungen.

Die Wanschaff'sche Kreistheilmaschine wurde in den 1. Stock des Hauptgebäudes der Abtheilung II übergeführt und alle zur Untersuchung erforderlichen Hülfseinrichtungen fertig gestellt.

II. Elektrische Arbeiten.

A) Starkstrom-Laboratorium.

1. Uebersicht der Prüfungsarbeiten[2]).

Die in dem Jahre 1901 geprüften elektrischen Apparate und Materialien sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Anzahl
I. Messapparate.	
A. Mit Gleichstrom geprüfte Zeigerapparate für Messung	
1. der elektrischen Spannung	30
2. „ „ Stromstärke	21

[1]) Leman, Blaschke.

[2]) Für Gleichstrom-Messungen: Feussner, Kurlbaum, Reichardt, Kühns, Thies, Schulze, Lohr, Runge; für Wechselstrom- und Isolations-Messungen: Orlich, Reichardt, Voege, Kühns, Thies.

	Anzahl
3. der elektrischen Spannung und Stromstärke	27
4. „ „ Leistung	9
5. „ „ Arbeit (Elektrizitätszähler)	216
B. Mit Wechsel- oder Drehstrom geprüfte Zeigerapparate für Messung	
1. der elektrischen Spannung	8
2. „ „ Stromstärke	8
3. „ „ Leistung	10
4. „ „ Arbeit (einphasiger Wechselstrom)	24
5. „ „ „ (Drehstrom)	11
C. Sonstige Messapparate	
1. Strommesswiderstände	2
2. Isolationsprüfer	2
3. Induktionsrollen	2
4. Kondensatoren	8
II. Motoren und Transformatoren.	
1. Wechselstrommotoren	1
2. Transformatoren	6
III. Materialien.	Anzahl der Anträge
1. Isolations- und Durchschlagsprüfungen von Isolir- und Leitungsmaterial	23
2. Bogenlichtkohlen	1

2. Verhalten der Elektrizitätszähler im praktischen Betriebe[1].

Zur Ausführung des im vorjährigen Thätigkeitsberichte mitgetheilten Planes zur Untersuchung des Verhaltens der Elektrizitätszähler verschiedener Systeme im praktischen Betriebe wurde von verschiedenen Fabrikanten (Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, H. Aron, Siemens & Halske) eine grössere Anzahl von Zählern für Gleichstrom und für Wechselstrom (durchschnittlich je 20 bis 30 Stück) der Reichsanstalt zur Verfügung gestellt. Diese Zähler wurden zunächst einer genauen Prüfung im Laboratorium der Reichsanstalt unterworfen. Dann wurden sie bei einer grösseren Anzahl von Abnehmern elektrischen Stromes, die an eines der Elektrizitätswerke in Berlin oder der benachbarten Orte angeschlossen sind, durch diese Elektrizitätswerke oder durch die Fabrikanten unter Betheiligung von Beamten der Reichsanstalt neben den bereits dort befindlichen Zählern oder an Stelle derselben aufgehängt, von der Reichsanstalt plombirt und als unter ihrer ausschliesslichen Kontrole stehend gekennzeichnet. Bald nach der Aufhängung und sodann nach längerer Betriebsdauer wurden Kontrolmessungen an dem Verwendungsorte vorgenommen. Diese Untersuchung soll über längere Betriebszeiten und auf eine grössere Anzahl von Systemen ausgedehnt werden.

3. Drehstromanschluss[2].

Die im letzten Berichte erwähnten, für den Drehstromanschluss an das städtische Werk bestimmten Transformatoren sind aufgestellt und nebst den zugehörigen Schaltanlagen in Betrieb genommen worden.

4. Arbeiten im Wechselstromlaboratorium[3].

Auch der im letzten Berichte erwähnte Umbau der für die Wechselstrommessungen bestimmten Räumlichkeiten ist beendet, die nothwendigen Einrichtungen in den betreffenden Zimmern sind ausgeführt und in Benutzung genommen. An jedem Arbeitsplatz kann mit jeder der zur Verfügung stehenden Energiequellen gearbeitet werden. An einer doppelten Schaltwand sind alle Leitungen und Einrichtungen angebracht, um Prüfungen von Wechselstrom- und Drehstrommessgeräthen für Spannungen bis zu 3×5000 Volt und Ströme bis zu 3×1000 Ampere auszuführen. Die für die Herstellung dieser Spannungen und Ströme nothwendigen Transformatoren sind z. Th. in der Reichsanstalt hergestellt worden und auf

[1]) Feussner, Kurlbaum, Orlich, Reichardt.
[2]) Feussner.
[3]) Orlich.

einer Galerie fest aufgestellt. Entsprechend diesen Einrichtungen wurde eine grössere Zahl verschiedenartiger Messinstrumente, die bei den laufenden Prüfungen Verwendung finden sollen, beschafft und einer eingehenden Untersuchung unterzogen.

Für die Prüfung von Leistungsmessern und Zählern wurde auf Veranlassung der Reichsanstalt von der Firma Siemens & Halske eine Doppeldrehstrommaschine hergestellt. Die umlaufenden Magnete einer 5 Kilowatt- und einer 1,5 Kilowatt-Drehstrommaschine sitzen auf derselben Achse; der Anker der grösseren Maschine ist in gewöhnlicher Weise fest, derjenige der kleineren Maschine dagegen kann gegen den Anker der grösseren durch Schnecke und Zahnrad um Winkel bis etwa 100° verstellt werden. Die grössere Maschine liefert den Strom für die Hauptstromspulen der Zähler und Leistungsmesser, die kleinere denjenigen für die Spannungskreise; in Folge davon kann die Phasendifferenz zwischen Spannung und Hauptstrom durch Drehen des Ankers der kleineren Maschine beliebig kontinuirlich verändert werden. Ausserdem können mittels eines Umschalters, der die drei Leitungen der kleineren Maschine mit einander zyklisch zu vertauschen gestattet, auch Phasenänderungen von 60° sprungweise bewirkt werden. Der Vortheil der Verwendung einer derartigen Doppelmaschine besteht darin, dass Spannung, Stromstärke und Phasenverschiebung zwischen beiden Stromkreisen unabhängig von einander einregulirt werden können.

Für die Aufnahme von Strom- und Spannungskurven wurde der Kurven-Indikator von R. Franke & Co. in Hannover (neuere Konstruktion)[1]) beschafft und dazu benutzt, die Kurvenformen der bei den Prüfungen benutzten Ströme festzustellen und in Fourier'sche Reihen zu entwickeln.

5. Optische Pyrometer[2]). Das in den *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1901. S. 712* veröffentlichte Pyrometer liegt in sechs von Siemens & Halske konstruirten Exemplaren zur Prüfung vor. In Gemeinschaft mit Abtheilung I sind diejenigen Grundlagen geschaffen, welche eine leichte und sichere Prüfung der Apparate gestatten (vgl. *S. 113*).

(Fortsetzung folgt.)

Referate.

Ueber die Veränderungen der Empfindlichkeit der Libellen.

Von A. Petrelius. *Öfversigt af Finska Vet.-Soc. Förhandlinger* **44.** *1901.*

Aus der Diskussion der 1897 und 1898 von ihm in Finland ausgeführten Feinnivellirungen ergab sich dem Verf. die Thatsache, dass die Empfindlichkeit der Libelle seines Instruments bedeutenden Schwankungen um einen Mittelwerth unterworfen war, deren Ursache er zunächst nicht erkennen konnte, da der Einfluss der Temperatur auf die Libelle bekannt und berücksichtigt und ihr sonstiges Verhalten nicht zu beanstanden war. Der Verf. hat deshalb eine grössere Zahl von Libellen von den verschiedensten Krümmungshalbmessern untersucht mit Hülfe eines dem Reichel'schen ähnlichen Libellenprüfers, bei dem 1 Umdr. der Schraube nahe dem Werthe 10ʼ = 1000ʼʼ (rund 324″) entspricht. Die Scheibe der Mikrometerschraube hatte 200 Theile (jeder also nahe = 5ʼʼ = rund 1,6″); die Konstante des Niveauprüfers war bei 6 verschiedenen Temperaturen zwischen − 3° und + 30° bestimmt worden. Die Libellentheilungen hatten meist Striche nach Pariser Linien (2,26 *mm*) oder auch Intervalle von 2 *mm*. Die empfindlichste der untersuchten Libellen hatte 6ʼʼ (2″), die wenigst empfindliche 120ʼʼ (55″); sämmtliche Libellen sind in ihren Fassungen untersucht (deren Einrichtungen nicht angegeben werden).

Die Untersuchung hat nun gezeigt, dass die Veränderlichkeit der Libellenempfindlichkeit nicht nur von der Temperatur abhängt (für deren Einfluss gelegentlich auch ein quadratisches Glied erkannt werden kann), sondern dass auch andere Umstände wirksam sind; vor Allem der *Luftdruck*, häufig in der Art, dass die Empfindlichkeit bei steigendem

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **21.** *S. 11. 1901.*

[2]) Holborn, Kurlbaum.

Barometer abnimmt (Empfindlichkeitszahl zunimmt, entsprechend einer stärkeren Krümmung des Libellenglases). Z. B. gab die Libelle eines Pariser Fein-Nivellir-Instruments mit etwa $p_0 = 20''$ (7'') für den Ausdruck

$$p = p_0 + \alpha\,(t - t_0) + \beta\,(b - b_0)$$

die Koeffizienten $\alpha = + 0{,}091''$ für Temperaturen zwischen -1^0 und $+27^0$ und $\beta = + 0{,}0494''$ für Luftdrücke zwischen 736 und 781 *mm*. Eine andere Libelle derselben Herkunft gab $\alpha = + 0{,}090''$ zwischen -3^0 und $+26^0$ und $\beta = + 0{,}004''$ für Luftdrücke zwischen 744 und 774 *mm* und verlangte noch den Zusatz eines quadratischen Temperaturgliedes $\gamma\,(t - t_0)^2$ mit $\gamma = + 0{,}0087''$. Der hohe Barometerkoeffizient der ersten Libelle ist auffallend; es kommen aber noch grössere vor: Die Libelle eines Breithaupt'schen Instruments mit $p_0 =$ rund 15'' (= 5'') gab für β + 0,091'', ja es soll eine Libelle mit $p_0 = 48''$ den Barometerkoeffizienten + 0,19'' gezeigt haben. Leider giebt der Verfasser nicht an, auf welche Art die Koeffizienten bestimmt sind und was $[vv]$ ist oder die m. F. der Koeffizienten sind.

In Uebereinstimmung mit andern Ergebnissen fand der Verf. den Temperaturkoeffizienten im Allgemeinen negativ; es kommen aber doch auch positive Werthe vor.

Der vom Verf. ermittelte Barometerkoeffizient ist meist positiv, wie bereits angedeutet ist. Die Beträge der Barometerkorrektion *übersteigen* bei manchen Libellen nach den Ergebnissen des Verf. die Beträge des Temperatureinflusses.

Der Verf. macht auch noch darauf aufmerksam, wie häufig bei ursprünglich guten Libellen im Lauf der Zeit die gleichmässige Krümmung verloren geht, ohne dass erkennbaren physikalisch-chemischen Veränderungen die Schuld beigelegt werden kann. Ein besonders auffallendes Beispiel führt der Verf. *S. 8 bis 9 (Fig. S. 10)* vor in der Nivellirlibelle eines Ertel'schen Tachymeters. Die Beobachtungen sollen sich nicht durch Kleben der Blase erklären lassen, sondern wirklichen dauernden, dabei von der Temperatur u. s. f. abhängigen Krümmungsveränderungen (verschieden in verschiedenen Theilen der Libelle) entsprechen. Auch eine Reichel'sche Libelle (seit 20 Jahren im Gebrauch) an einem Durchgangsinstrument der Sternwarte Helsingfors zeigt ähnliche Veränderungen. Sie ist in Pariser Linien getheilt und die Skalenbezifferung geht von 0 bis 50. Nach der Untersuchung von 1882 (vom Verf. durchgeführt) war die Empfindlichkeit in Sexagesimalsekunden bei einer Temperatur von rund $+ 20^0$ C.

Bewegung der Blase zwischen	10 u. 40	17 u. 33	22 u. 28	10 u. 40
Empfindlichkeit	3,75''	3,64''	3,66''	3,73'';

die Libelle war also vorzüglich. Eine zweite Untersuchung aus 1885 mit demselben Niveauprüfer bei 4 Temperaturen zwischen -12^0 und $+15^0$ und Bewegung der Libellenblase zwischen den Strichen 17 und 36 gab $p = 3{,}18''$, also fast $^1/_2''$ kleiner, bei verschwindendem Einfluss der Temperatur. Abermalige Untersuchung im Februar-Mai 1900 endlich bei Bewegung der Libellenblase zwischen den Strichen 17 und 33 gab $p = 2{,}8''$ durchschnittlich, aber bei folgenden speziellen Zahlen für die Empfindlichkeit in Bogensekunden:

Ort an der Skale →	10	17	25	36	40
$t = + 25^0$	6,1	2,3	5,5	2,4	2,6
$t = + 13^1/_2{}^0$	5,9	1,9	3,9	2,3	4,5
$t = + 1^1/_2{}^0$	5,3	1,6	5,2	2,3	2,3

Der Parswerth der Libelle hatte also bei allen Temperaturen ein Maximum in der Nähe des Skalenstrichs 10, ein Minimum bei 17, ein zweites Maximum bei 25 (Mitte der Skale), ein zweites Minimum bis 36; die Libelle war also durchaus *unbrauchbar* geworden, trotzdem sie die ganze Zeit in derselben Fassung blieb (durch leichten Federdruck auf zwei Paar Spitzen im Metalltrog festgehalten und durch Glasüberrohr vor starken Temperaturschwankungen geschützt). Der Verf. versichert, dass dieses Verhalten der Libelle sich nicht aus dem Niveauprüfer oder aus Schraubenfehlern und ebenso nicht durch Kleben der Libellenblase erklären lasse. Er will die Untersuchungen fortsetzen, und es wird also später nochmals darauf zurückzukommen sein. *Hammer.*

Neue Apparate für die Messung einer geodätischen Basis.

Von J. R. Benoît und Ch. Ed. Guillaume. *Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mesures* **12.** *1901.*

Das *Bureau international des Poids et Mesures* hat seit 1884 nahezu alle geodätischen Basisapparate von Bedeutung geprüft und dabei Gelegenheit genommen, neben den Etalonnirungen der Maassstäbe auch Vergleiche zwischen den verschiedenen Apparaten anzustellen. Der auf der Konferenz der Internationalen Erdmessung in Paris 1900 gefasste Plan, die Gradmessung in Ecuador zu wiederholen, gab Veranlassung zur Konstruktion eines neuen Basisapparates, die durch General Bassot den Hrn. Benoît und Guillaume anvertraut wurde; er stellte nur die einzige Forderung, der neue Apparat solle fest und handlich sein. Die genannten Physiker haben einen entsprechenden Apparat konstruirt, bei dem sie die Mängel der alten Apparate nach Möglichkeit vermieden haben. Diese Mängel sind folgende.

Die monometallischen Maassstäbe von Ibañez sind allerdings sehr fest, aber die Endstriche liegen nicht in der neutralen Schicht, sodass die Längen von der Auflagerung abhängen; die Apparate sind sehr schwer, eine Schutzhülle würde sie unhandlich machen.

Bei anderen, nach Angaben von Broch konstruirten Maassstäben sind durch besondere Gestaltung der Endflächen die Endstriche für sich allein in die neutrale Schicht gelegt, ihre Entfernung kann also nicht Meter für Meter verglichen werden; auch diese Apparate sind schwerfällig.

Die bimetallischen Brunner'schen Apparate geben in Folge des Uebereinanderlagerns der Maassstäbe nicht die erforderliche Sicherheit für Temperaturgleichheit; ferner ist die Lagerung auf je 14 Stellen unzweckmässig, da bei der vielfachen Reibung die Ausdehnung verzögert wird. Es wurde festgestellt, dass beim Anheben einer der Stellen um 0,11 *mm* der Messingstab sich um 10 μ verkürzte. Die Stäbe sind in Folge ihrer Lagerung auf der obern Seite des Tragebalkens leicht Stössen ausgesetzt; die Handhaben zum Transport liegen unter dem Querschnittsschwerpunkt, beim Tragen ist also ein Balanciren nöthig und dabei kommen am ehesten die Stäbe in die Nähe oder in Berührung mit den Armen der Träger. Die guten Resultate dieser ebenfalls schweren Apparate sind besonderer Mühe in der Behandlung zu danken.

Der neue Maassstab ist aus einem wenig ausdehnbaren Nickelstahl in H-Form gefertigt; seine Dimensionen gehen aus folgenden Angaben hervor.

Querschnittsfläche	798,95 mm^2
Vertikales Trägheitsmoment	110 513 mm^4
Horizontales Trägheitsmoment	123 283 mm^4
Masse, bei einer Dichte gleich 8,1	26,2 *kg*
Biegungspfeil, bei Lagerung auf den Punkten geringster Biegung	0,63 *mm*.

Thatsächlich kann die Biegung als verschwindend angesehen werden, da die letzte Hobelung des Stabes geschah, während er auf seinen Stützpunkten ruhte.

Der Maassstab ruht in einem Aluminiumkasten; zum Ablesen der Endstriche, der beiden Thermometer und der Zwischenstriche sowie zum Aufsetzen des Niveaus sind verschliessbare Oeffnungen vorhanden; an einem der Stützpunkte ruht der Stab auf einer Schneide, am anderen auf einer Rolle. Der Stab kann durch Metallklemmen mit Lederbeschlag im Kasten für den Transport festgeklemmt werden. Die Handhaben sind neben den Stützpunkten oben am Kasten angebracht. Das Niveau hat eine Kompensationslibelle; die Nickelstahlfassung hat einen Ausdehnungskoeffizienten, der dem des Glases gleich ist; die Quecksilbergefässe ruhen mitten im Maassstab. Den Stab hat die *Société de Commentry-Fourchambault* geliefert, bearbeitet wurde er von der *Société Genevoise.*

Auf derselben Konferenz der Internationalen Erdmessung wurde dem *Bureau international* auch das Studium des Jäderin'schen Apparates anvertraut; hierüber berichten Benoît und Guillaume Folgendes.

Zur Aichung der 24 *m* langen Nickelstahldrähte wurde ein unterirdischer, genügend langer, 2,2 *m* breiter Gang des Observatoriums hergerichtet; an dessen einer Wand wurden 7 Marken in Abständen von 4 *m* angebracht, die Abstände können genau kontrolirt werden. Die zu prüfenden Drähte wurden durch Gewichte (10 *kg* an jeder Seite) gespannt; es wurden 3 Paare von Nickelstahldrähten gewählt mit den Ausdehnungskoeffizienten

1 : 1 000 000, 9 : 1 000 000, 18 : 1 000 000.

Die Basis soll zur Bestimmung der Längen, zur Prüfung des Einflusses des Auf- und Zusammenwickelns, der Ausdehnung, der Fadendicke und der Spannung dienen. Um den Apparat aber auch für den Gebrauch im Felde zu prüfen, wurde eine 550 *m* lange Basis im Parke von St. Cloud eingerichtet. Einige Verbesserungen des Jäderin'schen Apparates, die namentlich das Auf- und Ablothen und die Spannung der Drähte betreffen, sind zur Zeit der Veröffentlichung dieser Mittheilung (Oktober 1901) theils noch im Werden, theils noch nicht geprüft, scheinen aber guten Erfolg zu versprechen.

Nebenbei sei erwähnt, dass sich folgende Unterschiede der Länge zwischen den Endstrichen der unterirdischen Basis und dem Mittel aus den 6 Drähten nach Reduktion aller Messungen auf 15° ergeben haben.

Datum	Temperatur	Basis minus Mittel
20. Juli	17,65°	+ 0,45 *mm*
27. „	15,60	+ 0,24
3. Aug.	16,80	+ 0,43
10. „	16,85	+ 0,53
17. „	16,27	+ 0,43
24. „	16,85	+ 0,55
31. „	16,00	+ 0,50
7. Sept.	15,30	+ 0,47
14. „	15,30	+ 0,43
21. „	15,08	+ 0,38
28. „	15,11	+ 0,40
5. Okt.	15,12	+ 0,41
12. „	14,37	+ 0,35
19. „	13,50	+ 0,27
26. „	12,90	+ 0,18
2. Nov.	11,63	— 0,04
9. „	10,40	— 0,18
16. „	10,43	— 0,23
23. „	9,73	— 0,26

Daraus ergab sich eine Ausdehnung der Mauer um 3,6 μ für 1° und 1 *m*. *Sn.*

Quecksilberpumpe zur Komprimirung reiner und kostbarer Gase unter hohem Druck.

Von H. Kamerlingh Onnes. *Communic. Phys. Labor. Univers. Leiden. Nr. 54. 1901.*

Die Mittheilung ist eine ausführliche Beschreibung der im kryogenen Laboratorium in Leiden vorhandenen Kompressionspumpen für die in der Ueberschrift angegebenen speziellen Zwecke. Es sind eine grössere Anzahl Zeichnungen aller Einzelheiten dieser komplizirten Apparate beigegeben, auf deren Wiedergabe hier verzichtet werden muss. Es sei nur darauf hingewiesen, dass das Auffangen der Gase im Innern der Pumpe, sowie die Kompression selbst unter Quecksilber erfolgt, um eine möglichste Reinheit der zum Theil mit bedeutenden Kosten hergestellten Gase zu gewährleisten. Die Drucke gehen bis über 100 Atm. *Rt.*

Methode zur Bestimmung des absoluten Werthes sehr tiefer Temperaturen.

Von H. Pellat. *Compt. rend.* **133**. *S. 921. 1901.*

Diese sehr beachtenswerthe Methode, die im Prinzip auch in solchen Temperaturen Gültigkeit behält, wo die Gase aufhören, den Gesetzen der vollkommenen Gase auch nur angenähert zu gehorchen, beruht auf der isothermischen Auswerthung der elektromotorischen Kraft E und des Koeffizienten des Peltier-Effektes Π eines Thermopaares. unter der Voraussetzung, dass zwischen diesen Grössen und der absoluten Temperatur T die Thomson'sche Gleichung

$$\Pi = T \cdot \frac{dE}{dT}$$

besteht. Denn denkt man sich E und Π als Funktionen $E(t)$ und $\Pi(t)$ eines Temperatur-Parameters t, z. B. der Angaben irgend eines willkürlichen Thermometers bestimmt, so ist die absolute Temperatur gegeben durch

$$\log \frac{T}{T_0} = \int_{t_0}^{t} \frac{E'(t)}{\Pi(t)}\, dt,$$

unter $E'(t)$ die erste Ableitung von $E(t)$ verstanden.

Zur praktischen Verwerthung dieser Methode schlägt der Verfasser den folgenden, leicht herstellbaren Apparat vor. Das Thermopaar wird aus Eisen-Zink verfertigt wegen der hohen thermoelektrischen Kraft dieser Verbindung in tiefen Temperaturen. Der auf die Temperatur T zu bringende Theil besteht aus einem Stabe von etwa 1 *cm* Durchmesser und 20 bis 30 *cm* Länge, zur Hälfte aus Eisen, zur Hälfte aus Zink zusammengesetzt, sodass die Löthstelle sich in der Mitte befindet. Die Enden des Stabes sind verbunden mit 3 bis 4 *mm* starken Eisen- bezw. Zinkdrähten, welche einerseits in ihren Verlängerungen dazu dienen, die thermoelektrische Spannung E des Paares zu den Messapparaten zu leiten, andrerseits die Zuführung eines starken elektrischen Stromes I (etwa 20 Amp.) durch den Stab bewerkstelligen, der an der Löthfläche den zu messenden Peltier-Effekt ΠI hervorruft.

Wird der Strom I in derjenigen Richtung durch den Stab geschickt, dass eine Abkühlung an der Löthfläche erfolgt, so kann der so entstehende Peltier-Effekt durch eine der Löthfläche zugeführte messbare Wärmemenge kompensirt werden. Die Zuführung dieser Wärmemenge geschieht in folgender Weise. In den Eisenstab ist in unmittelbarer Nähe der Löthfläche eine nur 0,1 bis 0,2 *mm* breite, tiefe Nuth eingeschnitten, welche durch eine gut isolirte, vom gemessenen Strome i durchflossene Drahtspirale ausgefüllt wird, deren Klemmspannung e in geeigneter Weise bestimmt werden kann. Feindrähtige, mit ihren Löthstellen in engen Bohrungen an verschiedenen Stellen des Stabes befindliche Thermoelemente zeigen an, wann die Kompensation des Peltier-Effektes eingetreten ist; man hat dann

$$\Pi = \frac{e\,i}{I}.$$

Die ganze Vorrichtung muss gegen Wärmeeinflüsse von aussen geschützt werden, damit die Kompensation des Peltier-Effektes ungestört vor sich gehen kann. Daher wird der Stab von einem gut evakuirten Glasrohr von 3 bis 4 *cm* Durchmesser umhüllt, aus dessen Endflächen die Zuführungsdrähte des Stabes und die Drähte der Heizspule sowie der Thermoelemente austreten.

Der Apparat wird nun auf verschiedene konstante Temperaturen gebracht, welche durch die Angaben t eines Thermoelements o. dgl. definirt werden. Auf diese Weise erhält man auf experimentellem Wege E und Π als (empirische) Funktionen von t.

Die Genauigkeit wird bei 150° abs. zu 0,5°, bei 75° abs. zu 1°, bei 20° abs. zu 1,5° angegeben.

So interessant die Methode an sich ist, so scheint dem Ref. die praktisch-physikalische Ausführbarkeit doch mit nicht zu unterschätzenden Schwierigkeiten verknüpft zu sein. Die nothwendige Wärmeisolation durch eine evakuirte Röhre setzt z. B. ausserordentlich konstante Temperaturen voraus, man wird sich ferner auf irgend eine Weise vergewissern

müssen, dass der Stab auch wirklich die Temperatur der Umgebung angenommen hat. Die verhältnissmässig erhebliche Länge von 20 bis 30 *cm*, wozu noch mehrere Zentimeter der Zuleitungen zu rechnen sind, wird besonders in tiefen Temperaturen nicht immer bequem zu handhaben sein.

Endlich ist nicht zu vergessen, dass die Grundlage dieser Methode, nämlich die Gültigkeit der Thomson'schen Differentialgleichung nur in erster Annäherung als zutreffend bezeichnet werden kann. Es ist aber ersichtlich, dass die vorstehende Methode in der Hauptsache ungeändert bleibt, wenn an Stelle der Thomson'schen Gleichung irgend eine andere tritt, durch welche die absolute Temperatur explizit als Funktion von E, Π und eventuell noch andrer, durch den Parameter t zu messender Grössen ausgedrückt werden kann.

Nimmt man andrerseits die absolute Temperatur T als durch das Gasthermometer gegeben an, so kann die beschriebene Methode dazu dienen, den Koeffizienten des Peltier-Effektes und die Thermokraft zu bestimmen und so die Abweichungen von der Thomson'schen Differentialgleichung zu ermitteln. *Rt.*

Das Verhalten kleiner geschlossener Zylinder in Orgelpfeifen.

Von B. Davis. *Amer. Journ. of Science* **12.** *S. 185. 1901.*

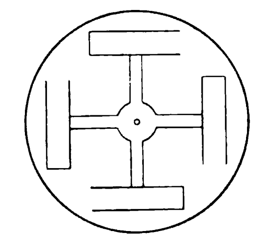
Methode zur Bestimmung der Knoten und Bäuche von Tönen in der freien Luft.

Von Demselben. *Ebenda* **12.** *S. 263. 1901.*

Ein Miniatur-Anemometer für stationäre Tonwellen.

Von Demselben. *Ebenda* **13.** *S. 129. 1902.*

Die mit Orgelpfeifen angestellten Versuche ergeben auch für grössere Körper ein ähnliches Verhalten, wie es bei den bekannten Kundt'schen Staubfiguren beobachtet wird. Die Erscheinung tritt auf, wenn die Orgelpfeife so angeblasen wird, dass ihr erster Oberton stark erklingt. Zu den Versuchen wurden bei einer ersten Versuchsanordnung Gelatinekapseln verschiedener Grösse benutzt, wie sie in der Medizin Anwendung finden; bei einer zweiten Serie von Versuchen dienten zum gleichen Zweck beiderseits offene Papierzylinder von verschiedenem Durchmesser. Diese Körper ordnen sich in mehreren Reihen im Bauch der stehenden Welle an; der Abstand dieser Reihen variirt je nach der Stärke des Tons und der Grösse der Zylinder und ist auch etwas abhängig von der Anzahl der entstehenden Reihen, die zwischen 2 und 10 schwankt. Die Länge der beiderseits verschlossenen Gelatinekapseln wechselte zwischen 1,0 und 2,4 *cm*, der Durchmesser derselben zwischen 0,5 und 0,8 *cm*. Die Papierzylinder hatten eine Länge von 6,3 *cm*, die Durchmesser derselben lagen zwischen den Grenzen von 0,5 und 1,4 *cm*. Damit die Zylinder nicht direkt durch den Anblasestrom bewegt werden, ist an der Mündung der Pfeife eine Gummimembran angebracht, welche den Innenraum der Pfeife gegen das Mundstück hin abschliesst; die eine Wand der Pfeife wurde durch eine Glasplatte ersetzt, um die Erscheinung beobachten zu können. Das Verhalten der Zylinder stellt die Vertheilung der Kräfte dar, die in bewegten Flüssigkeiten auf feste Körper wirken; die mathematische Behandlung dieser Vorgänge ist von W. König (*Wied. Ann.* **62.** *S. 353. 1891*) eingehend durchgeführt worden.



In der zweiten Mittheilung beschreibt Verf. eine Methode, um die Knoten und Bäuche von Luftschwingungen einer Pfeife in der umgebenden Luft zu ermitteln. Er konstruirte zu diesem Zweck eine Art Anemometer, indem er vier der kleinsten, im Vorstehenden beschriebenen Gelatinekapseln, die an einem Ende geöffnet waren, auf einem Kreuz von Kartenpapier befestigte (siehe die Figur). Das Kreuz kann sich mittels eines kleinen Glashütchens auf einer Nadel drehen. Dies kleine Anemometer wird an der Oeffnung eines auf die Pfeife abgestimmten Resonators angebracht und kommt in den Wellenbäuchen in mehr oder minder schnelle Rotation. Die Bewegung konnte noch bis zu einer Entfernung von

20 *m* von der Pfeife konstatirt werden. Die Empfindlichkeit der Vorrichtung lässt sich noch wesentlich dadurch steigern, dass das bewegliche System an einem Quarzfaden aufgehängt und die Drehung desselben, deren Grösse ein Maass für die Stärke der Luftbewegung abgiebt, mit Spiegel und Fernrohr beobachtet wird. Mit einem solchen Instrument kann man die akustischen Verhältnisse eines Raumes (Reflexion, Brechung und Absorption des Schalls) näher untersuchen.

Mit der eben beschriebenen Vorrichtung untersuchte Verf. auch die Schwingungen im Innern einer gedeckten Orgelpfeife, die ihren ersten Oberton giebt. In diesem Falle befinden sich an beiden Enden der Pfeife Schwingungsknoten, in der Mitte ist die Bewegung am grössten. Dementsprechend nimmt auch die Umdrehungsgeschwindigkeit des Anemometers nach der Mitte in sinusartigem Verlauf zu. Man hat dabei zu beachten, dass das Anemometer unabhängig von der Richtung der Schallbewegung immer dieselbe Drehrichtung behält, sodass es also für hin- und hergehende Bewegungen, wie sie beim Ton auftreten, in derselben Weise zu benutzen ist, wie für Bewegungen konstanter Richtung.

Aus der Umdrehungsgeschwindigkeit, welche für die drei benutzten Instrumente verschiedener Grösse annähernd gleich ausfällt, wird die mittlere Amplitude der Schwingungen im vorliegenden Fall zu 3 *mm* berechnet; die entsprechende Schwingungszahl betrug 338 pro Sek., die Länge der Pfeife 68 *cm*, der Querschnitt derselben $5{,}3 \times 6{,}4$ *cm*. *W. J.*

Eisenprüfer.

Von Ch. Drysdale. *The Electrician* **48.** *S. 267, 340. 1901; Journ. of the Inst. of Electr. Eng.* **31.** *S. 283. 1902.*

Sämmtliche bisher konstruirten Apparate zur Untersuchung von Eisensorten auf ihre magnetischen Eigenschaften erfordern, dass das Material in mehr oder weniger genau definirten Abmessungen vorliegt. Für technische Zwecke ist es aber gerade von grosser Wichtigkeit, die magnetischen Eigenschaften einer grösseren Eisenmasse zu kennen, die z. B. zum Bau einer Dynamomaschine Verwendung finden soll. Um eine derartige Untersuchung ausführen zu können, verfährt Drysdale in der Weise, dass er zunächst an einer beliebigen Stelle des Eisenklotzes mit einem besonders geformten Bohrer eine Höhlung ausbohrt, die an der Oberfläche des Klotzes konisch, im Innern zylindrisch geformt ist (vgl. Fig. 1). Diese Höhlung hat einen Durchmesser von rund 10 *mm* und eine Tiefe von etwa 15 *mm*. In der Achse dieser Höhlung lässt der Bohrer einen kleinen zylindrischen Dorn von 2,5 *mm* Durchmesser stehen. In diese Höhlung passt nun genau ein konischer Eisenpflock, welcher unten zwei Spulen, eine „Magnetisirungsspule“ und eine „Induktionsspule“ trägt. Dieser Pflock, der eine zentrale Bohrung besitzt, wird über den Dorn geschoben und in den Konus fest eingesetzt. Um ein festes Anschliessen der Eisenflächen an einander zu gewährleisten, ist der Pflock der Länge nach geschlitzt. Hierdurch ist eine Anordnung getroffen, welche eine Untersuchung der Eisenprobe nach der Jochmethode gestattet. Der Dorn wird durch die Magnetisirungsspule magnetisirt, der konische Eisenpflock und der Eisenklotz bilden den äusseren magnetischen Schluss oder „das Joch“. Drysdale hat nun die für eine ballistische Untersuchung nothwendigen Apparate auf einem Brett zusammengestellt (Fig. 2). Der Umschalter *K*, der Widerstand *R* und das Milliamperemeter *H* dienen zum Umschalten, Reguliren und Messen des Magnetisirungsstromes; am Strommesser *H* liest man direkt die Feldstärke $\mathfrak{H}$ ab. Der Zeiger eines ballistischen d'Arsonval-Galvanometers *G*, das durch die zwei Paare Leitungen enthaltende Schnur *C* mit der Induktionsspule des Pflockes *P* verbunden ist, spielt über einer Skale *B*, welche direkt die Zahl der Kraftlinien $\mathfrak{B}$ anzeigt. Will man nur die Permeabilität für eine einzige Feldstärke wissen, so kann man Widerstand *R* und Amperemeter *H* weg-

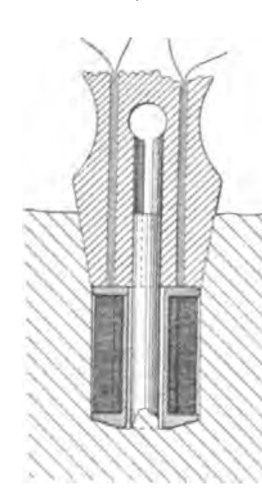


Fig. 1.

lassen. Man erregt den Magnetisirungskreis durch eine möglichst konstante elektromotorische Kraft und beobachtet den Ausschlag des Galvanometers *G* beim Kommutiren des Magnetisirungsstromes durch den Umschalter *K*. Da man voraussetzen kann, dass die Feldstärke $\mathfrak{H}$

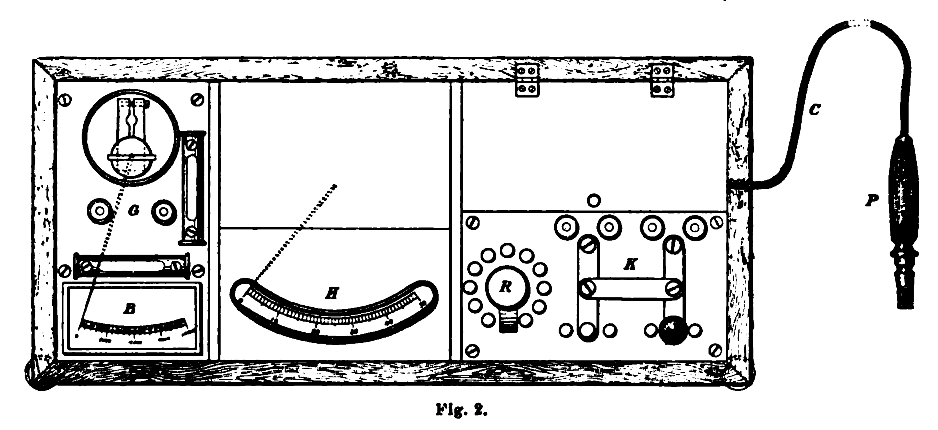


Fig. 2.

bei dieser Anordnung nahezu dieselbe ist, so kann man die Theilung so ausführen, dass man direkt die Permeabilität für diejenige Feldstärke abliest, für die der Apparat abgeglichen ist.

Ein abschliessendes Urtheil über die Zuverlässigkeit des Apparates ist aus den bisherigen Messungen noch nicht zu gewinnen. *E. O.*

Neu erschienene Bücher.

Carl Zeiss, Optische Werkstätte, Jena. Mikroskope und mikroskopische Hülfsapparate. 32. Ausgabe. 1902.

Im Februar 1902 ist ein neuer Katalog der Firma C. Zeiss über Mikroskopie erschienen; derselbe giebt Nachricht von einer Anzahl von Verbesserungen, die seit der 31. Katalogausgabe 1898 eingeführt sind: Die Apertur einiger Apochromatobjektive ist vergrössert, die Einrichtung der Objekttische und Beleuchtungsapparate ist vervollkommnet, sodann ist ein ganz neues, ausgezeichnetes Mikroskopstativ konstruirt worden.

Der neue Katalog zerfällt in zwei Theile; der *erste* enthält eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Gegenstände, der *zweite* ein kurzes Preisverzeichniss und eine Anzahl zweckmässiger kompleter Einrichtungen zum Mikroskopiren.

Im ersten Theile sind zunächst die *Objektive* und *Okulare* eingehend beschrieben. Die Objektive zerfallen bekanntlich in Achromate und Apochromate; die Brennweite der Achromate liegt zwischen 1,8 und 45, die der Apochromate zwischen 1,5 und 16 *mm*. In einer Einleitung sind die wichtigsten Definitionen (Tubuslänge, optische Tubuslänge, Apertur) kurz erläutert; nach Ansicht des Referenten hätte das Verständniss durch die Zeichnung des Strahlenganges in einem schematischen Mikroskop erleichtert werden können. Die Apertur der Apochromate ist durchschnittlich um 25 % grösser als die der Achromate gleicher Brennweite. Wenn die Achromate mit Huyghens'schen Okularen, die Apochromate mit den sog. Kompensationsokularen gebraucht werden, ist die Korrektion eine so vortreffliche, dass nur noch ein merklicher Fehler übrig bleibt, nämlich eine ganz geringe Krümmung des Bildes, welche eine etwas veränderte Einstellung für Mitte und Rand des Sehfeldes erfordert. Besonders umfangreich (60 S.) ist der dritte Abschnitt über Stative. Hier sind zunächst die *Beleuchtungsapparate* beschrieben. Die Kondensorsysteme selbst werden in verschiedenen optischen Konstruktionen ausgeführt, auch können umgekehrte Mikroskopobjektive benutzt werden. Etwa 12 *mm* unter der unteren Brennebene des Kondensors ist eine Irisblende angebracht, welche etwa 16 *mm* über dem Objekt, also mitten im Mikroskopobjektiv, ab-

gebildet wird (vgl. Czapski, Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. *Fig. 72, S. 216*); die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen zielen nach diesem Bilde der Irisblende. Wenn man keinen Kondensor anwendet, so ist es zweckmässig, dicht unter dem Objekt sog. Zylinderblenden anzubringen.

Die Objekttische sind gegen die früheren Konstruktionen erheblich verbessert worden. Neu in den Katalog aufgenommen ist das *Mikroskopstativ mit verbesserter Einstellvorrichtung* (vgl. M. Berger, *diese Zeitschr.* ***18.*** *S. 129. 1898*); dieses Stativ ermöglicht, sehr grosse Objekte, z. B. Gehirnschnitte, und sehr weite Tuben (z. B. zur Projektion) zu verwenden.

Auf die andern Stativkonstruktionen, die den früheren ähnlich sind, und auf die zahlreichen Nebenapparate kann hier nicht näher eingegangen werden. Treffliche Holzschnitte beleben die Beschreibung aller Gegenstände. Zum Schluss möchte der Ref. noch auf einen grossen Vorzug aufmerksam machen, den der vorliegende Katalog mit den andern der Zeiss'schen Werkstätte gemeinsam hat: Es werden nicht die ganzen komplizirten Apparate beschrieben, sondern die einzelnen, zusammengehörigen Theile, wie z. B. Objektive, Okulare, Beleuchtungsapparate, werden in besonderen Abschnitten behandelt. Diese Art der Darstellung hängt mit der Arbeitstheilung bei der Fabrikation aufs Engste zusammen. *Ms.*

Fortschritte, Die, der Physik im Jahre 1902. Dargestellt von der Deutschen physikalischen Gesellschaft. *Halbmonatliches Literaturverzeichniss*, red. v. K. Scheel (Reine Physik) u. R. Assmann (Kosmische Physik). 1. Jahrg. gr. 8°. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn. 4,00 M.

Da die „Fortschritte der Physik“ die Besprechung der physikalischen Publikationen eines Jahres naturgemäss erst nach Ablauf dieses Jahres bringen können, so soll durch die vorstehende Zusammenstellung dem Bedürfniss nach möglichst umgehender Orientirung über die gesammte in- und ausländische Fachliteratur genügt werden.

In derselben Anordnung wie in den „Fortschritten“ selbst werden die genauen Titel der neu erschienenen Abhandlungen, Lehrbücher u. s. w. gesammelt und zwar, wie sich aus den bis jetzt vorliegenden Heften ergiebt, mit bemerkenswerther Schnelligkeit. So sind in Nr. 2 des „Literaturverzeichnisses“ vom 30. Januar 1902 schon eine ganze Anzahl Abhandlungen aus dem Jahre 1902 aufgeführt.

Bei dem billigen Bezugspreis wird das wichtige bibliographische Hülfsmittel wohl bald eine weite Verbreitung finden. *Lck.*

G. Scheffers, Anwendg. d. Differential- u. Integral-Rechnung auf Geometrie. 2. Bd. Einführg. in die Theorie der Flächen. gr. 8°. X, 518 S. m. Fig. Leipzig, Veit & Co. 1902. 13,00 M.; geb. in Leinw. 14,00 M.

Veröffentlichungen des Zentralbureaus der internationalen Erdmessung. Neue Folge. Nr. 4. Lex. 8°. Berlin, G. Reimer.

4. Th. Albrecht, Anleitg. zum Gebrauch des Zenithteleskops auf den internationalen Breitenstationen. 2. Ausg. V, 29 S. m. 2 Taf. 1902. 3,00 M.

Annuaire *du Bureau des Longitudes pour l'an 1902.* 12°. 850 S. m. 3 Karten u. Figuren. 1,50 M.

Inhalt: H. Poincaré, *La télégraphie sans fils.* — A. Cornu, *Les courants polyphasés.* — E. Guyou, *Sur l'application de division décimale du quart de cercle à la pratique de navigation.* — J. Janssen, *Observatoire du sommet du Mont Blanc; création et travaux.* — *etc.*

E. J. Routh, *Treatise on analytical Statics. With illustrations taken from the theories of Electricity and Magnetism.* 2. revidirte u. vermehrte Aufl. Bd. II. 8°. 390 S. m. Fig. Cambridge 1902. Geb. in Leinw. 14,80 M.

Das vollst. Werk, 2 Bd., 1896—1902. 404 u. 390 S. m. Fig. Geb. in Leinw. 29,60 M.

K. T. Fischer, Neuere Versuche zur Mechanik der festen u. flüssigen Körper. Mit e. Anh. üb. das absolute Maasssystem. gr. 8°. V, 68 S. m. 55 Fig. Leipzig, B. G. Teubner 1902. Kart. 2,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. H. **Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. A. **Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. E. **Abbe**, Dr. H. **Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Mai 1902.** Fünftes Heft.

Ueber neuere Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfür bestimmten Stereo-Komparator.

Von

Dr. **C. Pulfrich** in Jena.

(Mittheilung aus der optischen Werkstaette von Carl Zeiss.)

(Fortsetzung von S. 81.)

Orientirung der Platten P_1 und P_2 zum Beobachter. Für diejenigen Anwendungsgebiete des Stereo-Komparators, bei denen es sich um die Erkennung der thatsächlichen Raumvertheilung irdischer und himmlischer Objekte handelt, ist es im Interesse der Uebersichtlichkeit wünschenswerth, dass die Auflage und die Orientirung der Platten auf dem Stereo-Komparator stets so erfolgen, dass der Beobachter bei der Betrachtung der Platten mit und ohne Stereoskop *sich jederzeit vorstellen kann, er befinde sich mit dem einen Auge in dem einen Standpunkt, mit dem anderen Auge in dem anderen Standpunkt, von wo aus die Aufnahmen erfolgt sind, und schaue von hier aus in den wahren Raum hinaus.*

Es kommt also zunächst in Frage, ob die Platten mit ihrer Schichtseite nach oben oder nach unten auf den Stereo-Komparator gelegt werden müssen. Es ist nun sofort zu sehen, dass die bei der photographischen Aufnahme gewonnenen *Negative* mit ihrer *Schichtseite* stets nach *unten*, die durch einfachen Kontaktdruck hergestellten *Diapositive* mit ihrer *Schichtseite* stets nach *oben* auf den Stereo-Komparator gelegt werden müssen. Denn nur bei dieser Art der Auflage ist man im Stande, durch Drehen jeder einzelnen Platte in ihrer Ebene die gleiche Orientirung der Plattenbilder zur Verbindungslinie der Okulare in Bezug auf links und rechts, oben und unten zu erhalten, in der sich die Natur zu der Verbindungslinie der beiden Aufnahmepunkte befindet. Dass man bei Negativen durch die Glasplatte hindurch beobachtet, hat für die Messung keinen Nachtheil, weil die Glasplatte, da sie sich in unmittelbarer Nähe der Objektebene befindet und der Einblick stets senkrecht zur Platte erfolgt, auf den Strahlengang keinen Einfluss ausübt.

Es ist dann weiter die Frage zu erörtern, ob man die im Standpunkt I gewonnene Platte P_1 *links oder rechts* auf den Stereo-Komparator zu legen hat. Diese Frage scheint auf den ersten Blick überflüssig. Denn es ist ganz selbstverständlich, dass man bei *Landschaftsaufnahmen* die durch die natürliche aufrechte Stellung des Beobachters gegebene Orientirung der Natur zur Verbindungslinie der Augen als Vorlage für die Orientirung der Platten zur Verbindungslinie der Okulare ansieht, und man wird daher, wie in den obigen Fig. 2 und 3, *S. 78*, angedeutet ist, die von dem Standpunkt links (I) gewonnene Platte P_1 in aufrechter Stellung auf die linke Seite des Stereo-Komparators bringen und die andere Platte P_2 in gleicher Orientirung rechts daneben. Aber man kann auch in diesem Falle die Platten miteinander ver-

tauschen, müsste dann aber, um die natürliche Tiefenfolge zu erhalten, jede Platte auf den Kopf stellen, d. h. in ihrer Ebene um 180° drehen. Die Platten würden sich alsdann wieder in der gleichen Position zu einander wie vorher und zum Beobachter so befinden, wie wenn man das ganze Plattenpaar aus der ersten natürlichen Aufstellung in seiner Ebene um 180° gedreht hätte, und der Eindruck, welchen das Plattenpaar im stereoskopischen Sehen hervorruft, wäre in Allem genau so, wie wenn man bei der Betrachtung der Natur sich selbst auf den Kopf gestellt hätte.

Wie gesagt, man wird bei Landschaftsaufnahmen immer nur die eine, natürliche Aufstellung der Platten vornehmen, aber bei *Sternaufnahmen* kann man ohne irgend welche Bedenken sowohl die eine als auch die andere Aufstellung des Plattenpaares zum Beobachter anwenden und es ist nur Sache der Entschliessung, ob man die im Standpunkt I gewonnene Sternaufnahme P_1 dem linken oder dem rechten Auge zuführen will, und es ist dann weiterhin Sache der Ueberlegung, dass man die Platten im Sinne der vorstehenden Erörterungen richtig zu einander einstellt.

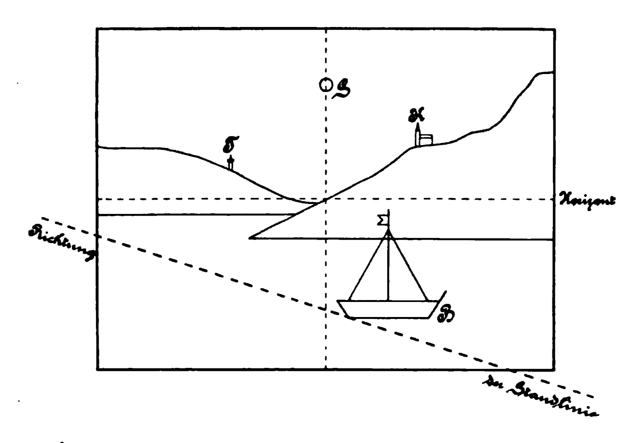


Fig. 5. Schematisches Landschaftsbild.

Erläuterung zu Fig. 5. Die Aufnahmen erfolgen vom diesseitigen Ufer des Sees. Der Standpunkt I (links) liegt höher als der Standpunkt II (rechts). Die senkrecht zur Standlinie und parallel zu einander gerichteten optischen Achsen liegen horizontal, die Platten also in einer Ebene und senkrecht.

Die im Text gemachten Ausführungen gelten allgemein, wie auch die in einer Ebene liegenden Platten bei der Aufnahme gerichtet sein mögen (vgl. des Näheren den nächstfolgenden Abschnitt IV).

Die oben erwähnte Anforderung, dass dem Beobachter im Stereo-Komparator der gleiche Anblick dargeboten werden soll, den er erhalten würde, wenn seine Augen sich an den Endpunkten der Standlinie befänden, hat bei Landschaftsaufnahmen zur Folge, dass in allen Fällen, wo die Standlinie *geneigt zum Plattenhorizont* gerichtet ist (Fig. 5), der eine Standpunkt also höher liegt als der andere, jede der beiden Platten auf dem Komparator nach derselben Seite so weit gedreht werden muss (Fig. 6), dass der Neigungswinkel zwischen dem Plattenhorizont und der Verbindungslinie der Okulare ebenso gross ist, wie der Neigungswinkel zwischen dem Plattenhorizont und der Standlinie. Diese Art der Aufstellung der Platten ist wegen des Wegfalls aller Höhendifferenzen der beiderseitigen Bildpunkte besonders da von Werth, wo es sich um die stereoskopische Betrachtung der Platten in ihrer ganzen Ausdehnung mit Hülfe des Spiegelstereoskopes handelt und wo es darauf ankommt, mit Hülfe des Mikroskop-Stereoskopes eine rasche Durchsuchung der Landschaft vorzunehmen.

Die nach Fig. 6 bewirkte Art der Orientirung der Platten auf dem Stereo-Komparator ist trotz des angegebenen Vortheils *für die eigentliche Messungsarbeit nicht zu empfehlen.* Man erhält zwar aus der gegebenen Standlinie (B) und den in die Richtung der Standlinie fallenden parallaktischen Verschiebungen (a) der Bildpunkte sofort die gesuchte Entfernung der Objekte in der Landschaft (im Einzelnen siehe

wegen des Rechenverfahrens den nachfolgenden Abschnitt IV); aber es können bei dieser Plattenstellung nicht die zur Berechnung der beiden anderen Raumkoordinaten (Breite und Höhe) erforderlichen Koordinaten der Bildpunkte in Bezug auf das Strichkreuz der Platte an den mit dem Doppelschlitten des Plattenpaares verbundenen Maassstäben A und B (Fig. 1) abgelesen werden. Um das zu können, müssten die Platten dementsprechend erst wieder von Neuem orientirt werden. Daher erscheint es vortheilhafter, die Platte gleich von vornherein *ganz ohne Rücksicht auf die Neigung der Standlinie* so zu orientiren (siehe Fig. 7), dass der Plattenhorizont der Verbindungslinie der Okulare oder, was dasselbe ist, der *Horizontalschlittenführung des Plattenpaares parallel gerichtet ist.* Hierbei erhält man dann nicht nur die beiden Bildpunktkoordinaten

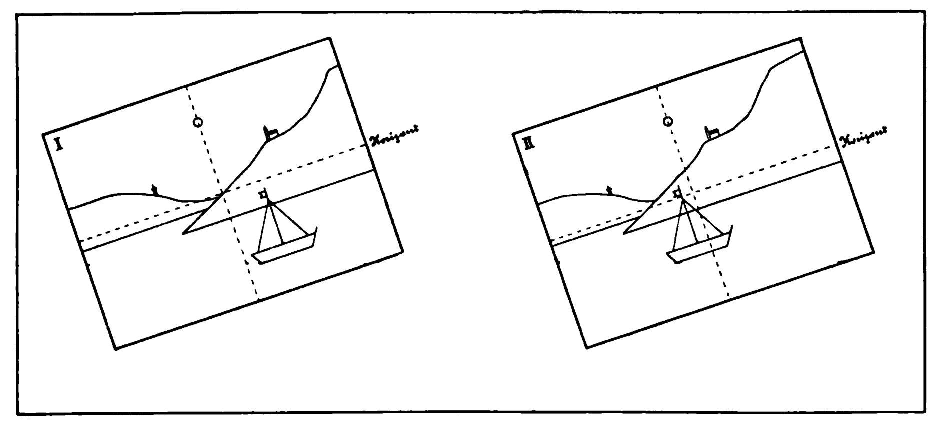


Fig. 6.

Erläuterung zu Fig. 6. Die Platten P_1 und P_2 sind auf dem Stereo-Komparator so orientirt — Standlinie parallel der Verbindungslinie der Okulare — dass der Beobachter sich vorstellen kann, er befinde sich mit seinen Augen an den Endpunkten der geneigten Standlinie.

Bei der stereoskopischen Betrachtung der Fig. 6 mit Hülfe eines gewöhnlichen Stereoskops kann man sich von dem Eindruck, als hinge die Landschaft nach der linken Seite herab, befreien und die vorgenannte Vorstellung auch zu einer physiologisch vollkommenen machen, wenn man die Fig. 6 in der Ebene des Papiers so weit nach rechts dreht, dass der Plattenhorizont horizontal gelegen ist, und dann mit dem Stereoskop und dem eigenen Kopf um den gleichen Drehungswinkel nachfolgt. Der Beobachter befindet sich alsdann in aufrechter Stellung mit nach rechts geneigtem Kopf dem aufrechtstehenden Landschaftsbild gegenüber, wie das auch in der Natur nach unserer obigen Vorstellung der Fall ist.

Entsprechend den Aufnahmebedingungen (s. die Erläuterung zu Fig. 5) erscheint bei der stereoskopischen Betrachtung der Fig. 6 der Plattenrand, das Strichkreuz und die Sonne am weitesten entfernt. Die Landschaft tritt nach vorn aus dem Plattenrahmen heraus.

sofort an den beiden Maassstäben A und B, sondern ausserdem noch aus der *Projektion* (B') *der Standlinie* auf den Plattenhorizont und aus den direkt gemessenen *Projektionen* (a') *der parallaktischen Differenzen* auf denselben Horizont die gesuchte Entfernung, und es ist bei dieser Orientirung der Platten das Messungsergebniss in Allem genau so, *wie wenn alle Objekte der Landschaft und die beiden Beobachtungsstationen in einer Ebene, der durch die optische Achse und den Plattenhorizont gelegten Projektionsebene, gelegen seien und der Beobachter schaue von den Endpunkten der Projektion der Standlinie nach den in dieser Projektionsebene gelegenen Objekten.* Es ist natürlich, dass mit dieser Art Orientirung der Platten der Nachtheil verbunden ist, dass man die Platten nicht in ihrer ganzen Ausdehnung stereoskopisch betrachten kann, da die in die Richtung der Platten-*Vertikale* fallenden Komponenten der parallaktischen Verschiebung für die verschiedenen Objekte der Landschaft *Höhendifferenzen* hervorrufen. Aber für die eigentlichen

Messungszwecke mit Hülfe des Mikroskop-Stereoskops haben diese Differenzen keinerlei Bedeutung, da sie jederzeit für die zu messenden Objekte durch eine neue Höheneinstellung der Platte P_2 mittels der Höhenschraube (N in Fig. 1) ohne sonstige Beeinträchtigung der Messungsergebnisse wieder beseitigt werden können.

Für die Messungszwecke kann unter Umständen *noch eine andere Art der Orientirung* des Plattenpaares von Vortheil sein: In Fällen nämlich, wo der Höhenunterschied der beiden Standpunkte grösser ist als der Horizontalabstand, empfiehlt es sich, jede der beiden Platten aus der in Fig. 7 bezeichneten Lage um 90° zu drehen, nach links oder nach rechts, je nachdem der Standpunkt I höher oder tiefer liegt, als der Standpunkt II. Die Verbindungslinie der Okulare wird dann der Platten-*Vertikale* parallel gerichtet sein, und der Beobachter hat sich vorzustellen, seine Augen befänden sich an den Endpunkten der Projektion der Standlinie *auf die Plattenvertikale*, also *übereinander*, und man erhält dann gerade so, wie bei der Orientirung der Platten

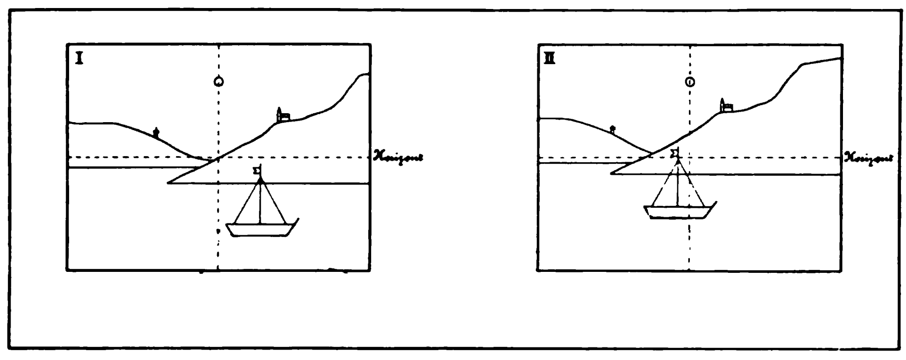


Fig. 7.

Erläuterung zu Fig. 7. Die Platten sind so orientirt — Plattenhorizont der Verbindungslinie der Okulare parallel — dass der Beobachter sich vorstellen kann, er befinde sich mit seinen Augen an den Endpunkten der Projektion der Standlinie auf den Plattenhorizont. Die beiderseitigen Bildpunkte gleicher Objekte liegen nicht in gleicher Höhe, in Folge dessen ist eine ungestörte stereoskopische Betrachtung des Gesammtbildes nicht möglich.

nach Fig. 7, die gesuchten drei Raumkoordinaten, nur mit dem Unterschied, dass jetzt die beiden Bildpunktkoordinaten unter sich und ebenso die beiden Komponenten der parallaktischen Verschiebung unter sich ihre Rollen vertauscht haben.

Beobachtung des Plattenpaares unter verschiedenen Positionswinkeln. Die vorstehend bezeichneten Ueberlegungen haben selbstverständlich nur dann einen Sinn, wenn eine Standlinie vorliegt und wenn es sich darum handelt, die in solchen Fällen im Stereo-Komparator wahrgenommenen stereoskopischen Effekte richtig zu deuten.

Ist aber eine Standlinie nicht vorhanden, handelt es sich also nur um das Erkennen und Messen von *Bildverschiedenheiten*, so kann die Beobachtung des Plattenpaares *in jedem beliebigen Positionswinkel* erfolgen, wobei natürlich immer die Bedingung erfüllt sein muss, dass die Platten unter sich auf den *gleichen* Positionswinkel eingestellt sind.

Es fragt sich, ob die unter Anwendung eines willkürlich gewählten Positionswinkels vorgenommene stereoskopische Untersuchung des Plattenpaares genügt zum Erkennen der sämmtlichen auf den Platten vorhandenen Bildverschiedenheiten. Wir werden sofort sehen, dass dies nicht der Fall ist. Eine Ausnahme machen nur die Bildverschiedenheiten von der Art wie *Plattenfehler*, *veränderliche Sterne u. s. w.*, da diese nicht als Tiefenunterschiede, sondern als Störungen des stereoskopischen Sehens

empfunden werden und als solche *in jedem beliebigen Positionswinkel* erkannt werden. Handelt es sich aber um die Erkennung der Verrückungen von Bildpunkten, wie sie z. B. bei Sternaufnahmen als die Folge von *Parallaxe* oder *Eigenbewegung* auftreten, so ist im Allgemeinen die stereoskopische Betrachtung des Plattenpaares in einem einzigen Positionswinkel *nicht mehr ausreichend.* Denn stereoskopisch sichtbar und messbar ist von solchen Bildpunktverrückungen immer nur die in die Richtung der Verbindungslinie der Okulare fallende Komponente, während die dazu senkrechte Komponente stereoskopisch ganz unwirksam bleibt und nur eine Höhendifferenz der beiden Bildpunkte zur Messmarke hervorruft, die aber leicht übersehen wird. Ebenso hat diese Höhendifferenz auf den stereoskopischen Effekt der horizontalen Komponente keinen Einfluss; erweist sie sich bei der Messung als allzu störend, so kann sie jederzeit durch eine etwas andere Höheneinstellung der Platte mittels der Schraube N (siehe Fig. 1) beseitigt werden. Dreht man nun aber jede der beiden Platten um 90° und justirt von Neuem so, dass man das Plattenpaar wiederum stereoskopisch betrachten kann, so haben die beiden Komponenten jetzt ihre Rollen vertauscht und nur die zweite, vorher vertikal gerichtete Komponente tritt stereoskopisch in die Erscheinung.

Hieraus geht also hervor, dass in allen Fällen, wo eine bestimmt ausgesprochene Richtung für die Ortsveränderungen der verschobenen Punkte nicht vorherrscht, *die stereoskopische Betrachtung des Plattenpaares in zwei um 90° verschiedenen Positionswinkeln* für die Erkennung und Messung der auf den Platten vorhandenen Verrückungen von Bildpunkten *nothwendig, aber auch ausreichend ist.* Es ist selbstverständlich, dass, wenn eine bestimmte Richtung für die Mehrzahl der Bildpunktverrückungen als solche erkannt oder vermuthet wird — z. B. bei Benutzung der Sonnenbahn als Basis — das Plattenpaar so eingestellt wird, dass diese Richtung in die Verbindungslinie der Okulare fällt. Die Verrückungen werden dann also mit ihrem vollen Betrag stereoskopisch sichtbar und messbar. Im anderen Falle erhält man die Verrückungen nach Grösse, Richtung und Vorzeichen aus den beiden Komponenten.

Die stereoskopische Betrachtung des Plattenpaares in *zwei* Positionswinkeln ist noch in anderer Hinsicht von Interesse. In Fällen nämlich, in denen man über die Richtigkeit des beobachteten stereoskopischen Effektes, in Sonderheit über die Tiefenfolge zweier Punkte *im Zweifel* ist, bedarf es nur einer Drehung jeder der beiden Platten in ihrer Ebene um 180°, ohne dass die Platten vertauscht werden, oder einer Vertauschung ohne Drehung, um die Tiefenfolge der in Frage stehenden Bildpunkte umzukehren, mit anderen Worten, um den beobachteten stereoskopischen Effekt in den pseudo-stereoskopischen zu verwandeln. Auf diese Weise ist man in den Stand gesetzt, darüber mit grösster Sicherheit zu entscheiden, ob dem beobachteten stereoskopischen Effekt eine thatsächliche Bildverschiebung zu Grunde liegt oder nicht, und im letzteren Falle die etwa vorhandene physiologische Beeinflussung der Vorstellung des Beobachters, entstanden durch frühere ähnliche Beobachtungen, durch malerische Perspektive, Beleuchtungseffekte u. dgl., also das, was man nach Analogie anderer Messmethoden „die persönliche Gleichung des Beobachters“ nennen kann, zu beseitigen. Um endlich die mit der Drehung bezw. Vertauschung der Platten erforderliche Neujustirung der Platten zu vermeiden, ist das Mikroskop-Stereoskop noch mit zwei *Reversionsprismen* in Fassung, die zum Einstecken in die Okulare eingerichtet sind, ausgerüstet. Mit Hülfe der Prismen ist man dann im Stande, die angegebene Umkehrung des stereoskopischen Effektes *bei unveränderter Plattenstellung* zu bewerkstelligen.

Die eigentliche Justirarbeit. Unter Justiren verstehen wir das Zurechtrücken der Platten für die stereoskopische Beobachtung und die Einstellung der Platten *auf genau den gleichen Positionswinkel.* Ich gebe im Folgenden gleich die Justirvorschriften für die beiden oben (*S. 75*) erwähnten neuen Modelle des Stereo-Komparators.

Zunächst wird nach erfolgter Orientirung der Platten P_1 und P_2 in Bezug auf rechts und links, oben und unten, und nach Einstellung der rechten Platte (P_2) auf einen bestimmten Positionswinkel — letzteres unter Benutzung des Theilkreises und des Plattenhorizontes bei photogrammetrischen Aufnahmen — die linke Platte (P_1) durch Drehen derselben *nach Augenmaass angenähert* auf den gleichen Positionswinkel wie P_2 eingestellt und, unter Benutzung der an den Verschlussklappen der Objektivöffnungen (K_1 und K_2 in Fig. 1) angebrachten Visire, dieselbe Platte P_1 durch Verschieben auf dem Kreuzrahmen in eine solche Lage zu P_2 gebracht, dass die Bildpunkte eines und desselben Objektes in den Bildfeldebenen beider Okulare sichtbar sind.

Zum Zwecke der *Feinjustirung* wird jetzt das Platten-*Paar* so verschoben, dass der *über dem Mittelpunkt der Drehscheibe liegende Bildpunkt der Platte* P_1 genau in die Mitte des Gesichtsfeldes neben die Messmarke zu liegen kommt. Die Prüfung erfolgt durch Drehen der Scheibe P_1. Alsdann wird die Stellung der Platte P_2 mit Hülfe der Feinbewegungsschrauben M und N des Kreuzschlittens unterhalb P_2 so regulirt, dass derselbe Bildpunkt im rechten Okular genau die gleiche Lage zur Messung erhält, wie im linken Okular. Bringt man dann, wiederum nach Augenmaass, die Platte P_1 angenähert wieder auf den gleichen Positionswinkel wie P_2 und ist im Uebrigen das Mikroskop-Stereoskop in Bezug auf Bildschärfe und Okularabstand für den Beobachter richtig eingestellt (vgl. oben *S. 80*), so erhält man beim Einblick in das Mikroskop-Stereoskop sofort in erster Annäherung den richtigen stereoskopischen Anblick dieses Theiles der Platten. Endlich ist es für die weitere Justirarbeit von Nutzen, durch Feineinstellung der Schraube M den Bildpunkt in genau die gleiche scheinbare Entfernung mit der Messmarke zu bringen.

An der endgültigen Feinjustirung der Platten fehlt jetzt nur noch die Einstellung der Platte P_1 auf genau den gleichen Positionswinkel wie P_2. Es ist nun sofort zu sehen, dass diese letzte Einstellung ausschliesslich durch Drehen der Platte P_1 vorgenommen werden kann, ohne dass dadurch der vorbezeichnete Abstand des Drehungsmittelpunktes von P_1 zu P_2 in irgend einer Weise geändert wird. Um diese Drehung der Platte P_1 mit der erforderlichen Feinheit vornehmen zu können, ist die Drehscheibe mit einer *Feinbewegungsschraube* — an dem in Fig. 1 abgebildeten Versuchsinstrument noch nicht vorhanden — ausgerüstet worden.

Wir wollen zunächst sehen, welchen Einfluss eine fehlerhafte Drehung der Platte P_1 auf die relative Lage der zusammengehörigen Bildpunkte auf den Platten ausübt. Die durch eine solche Drehung der Platte P_1 bewirkte Verschiebung der Bildpunkte ist überall gleich dem Kreisbogen des Drehungswinkels und daher um so grösser, je weiter man sich von dem Drehungsmittelpunkt der Platte P_1 entfernt. Aus dem Grunde macht sich, sobald man das Plattenpaar aus der obenbezeichneten Mittelstellung verrückt, sofort eine Störung in der Justirung bemerkbar, die mit dem Abstand von dem Drehungsmittelpunkt immer grösser wird. Die Art aber, wie sich diese Störung im stereoskopischen Sehen bemerkbar macht, ist je nach der Richtung, in der man das Plattenpaar von der Mitte aus verschiebt, verschieden. So ist sofort zu sehen, dass für die *rechts* und *links* von der Mitte der Platte P_1 gelegenen Bildpunkte die ganze Störung in einer immer grösser werdenden *Höhen-*

differenz der Bildpunkte zur Messmarke besteht, die aber, da sie den Abstand der beiderseitigen Bildpunkte ungeändert lässt, auf die scheinbare Entfernung der Bildpunkte keinen Einfluss hat und ausserdem jederzeit durch eine neue Höheneinstellung der Platte P_2 mittels N, ohne dass hierdurch eine Aenderung der scheinbaren Entfernung eintritt, wieder beseitigt werden kann. Das Gleiche gilt von den in die Richtung der Vertikale fallenden Verschiebungskomponenten der an irgend einer anderen Stelle der Platte gelegenen Bildpunkte.

Ganz anders aber verhält es sich mit den in die Richtung der Verbindungslinie der Okulare fallenden Verschiebungen für die *ober- und unterhalb* des Drehungsmittelpunktes gelegenen Bildpunkte und mit den in die gleiche Richtung fallenden Verschiebungskomponenten der übrigen Bildpunkte. Diese ändern an der relativen Höhenlage der Bildpunkte zur Messmarke selbstverständlich nichts, treten dafür aber mit ihrem vollen Betrag stereoskopisch, d. h. als eine Aenderung der scheinbaren Entfernung des betreffenden Bildpunktes in die Erscheinung. Auch ist diese Aenderung der scheinbaren Entfernung, wie leicht ersichtlich, in den oberen und unteren Theilen der Platte stets einander entgegengesetzt gerichtet und um so grösser, je weiter der Bildpunkt von dem Drehungsmittelpunkt der Platte P_1 absteht.

Wir sehen daher, dass es für den Zweck der Feineinstellung der Platte P_1 mit Hülfe der Feinbewegungsschraube ausreichend ist, einen *rechts oder links* vom Drehungsmittelpunkt gelegenen Bildpunkt zu benutzen und hierbei ausschliesslich auf die *gleiche Höheneinstellung* zu achten *oder* einen *ober- oder unterhalb* des Drehungsmittelpunktes gelegenen Bildpunkt zu verwenden und hierbei ausschliesslich auf die *richtige scheinbare Entfernung* einzustellen. Da aber Tiefenunterschiede viel leichter erkannt werden als Höhendifferenzen, so ist von der ersten Art der Einstellung der Platte P_1 nur dann Gebrauch zu machen, wenn die zweite Methode aus Mangel eines geeigneten zweiten Fixpunktes, dessen Entfernung bekannt ist, nicht anwendbar ist. In beiden Fällen ist die Einstellung mit der der stereoskopischen Methode entsprechenden Genauigkeit, also bis auf wenige tausendstel Millimeter, vorzunehmen, was einem Drehungswinkel der Platte P_1 bis auf Bruchtheile von 1 Minute genau entspricht.

Was nun im Besonderen die *Justirung von Sternplatten* anbetrifft, so gestaltet sich dieselbe, da alle Sterne hierbei in einer *Ebene senkrecht zur Blickrichtung* liegen müssen, ausserordentlich einfach. Die Richtung, in der die Platte P_1 gedreht werden muss, ist schon bei der stereoskopischen Betrachtung der um den Drehungsmittelpunkt der Platte P_1 gelegenen Sterne sofort erkennbar: die Ebene, der die Sterne angehören, erscheint geneigt zur Blendenebene der Art, dass der obere Theil des Gesichtsfeldes vor-, der untere zurücktritt oder umgekehrt. Man braucht dann nur durch Feindrehung der Platte P_1 die Ebene der Sterne parallel zur Blendenebene zu stellen, und man hat dann, wenn man die am oberen oder am unteren Rande der Platte befindlichen Sterne in das Gesichtsfeld bringt, nur noch eine kleine Nachjustirung der Platte P_1 vorzunehmen.

Ebenso einfach gestaltet sich die Justirung der Platten, wenn es sich um die Messung von Objekten, z. B. von *Nachtwolken*, *Sternschnuppen*, *Nordlichtern*, *Kometen u. s. w.*, handelt, für welche der *Sternhimmel den Hintergrund* bildet. Ist hierbei das Plattenpaar in Bezug auf den Sternhimmel richtig justirt, so ist dies auch in Bezug auf die zu messenden Objekte der Fall, wobei der Sternhimmel ausserdem noch den Nullpunkt für die stereoskopische Entfernungsmessung abgiebt und die Beschaffung jedes weiteren Fixpunktes unnöthig macht. In der Hinsicht dürften telestereoskopische Landschaftsaufnahmen bei Nacht gegen den Sternenhimmel speziell für Messungszwecke einige

Beachtung verdienen. Ob hierbei die Sterne auf der Platte als Punkte erscheinen oder als Striche, ist für die Justirung sowohl, wie für die Messung gleichgültig.

Auch bei Landschaftsaufnahmen am Tage, wenn die Aufnahmen von genau demselben Standpunkt aus erfolgt sind (etwa zum Zwecke des Studiums von Veränderungen u. s. w.), kann man bei der Justirung der Platten von dem Umstande, dass alle Objekte stereoskopisch in einer Ebene gesehen werden müssen, Gebrauch machen. Dagegen muss die *Justirung telestereoskopischer Landschafts- und Wolkenaufnahmen* dieses einfachen Hülfsmittels entbehren. Hier ist man, wenn kein anderes Hülfsmittel vorliegt, auf die *Benutzung bekannter Fixpunkte* angewiesen, die aber, wie wir gesehen haben, nicht nebeneinander, sondern in gleicher oder verschiedener Entfernung *übereinander* liegen müssen. Auch sind zwei solche feste Punkte vollständig ausreichend, nur ist es wünschenswerth, den Vertikalabstand dieser beiden Punkte möglichst gross zu wählen. Ist einer dieser beiden Punkte die Sonne, wie z. B. in den oben (*S. 71*) erwähnten Wolkenaufnahmen oder in dem Landschaftsbild der Fig. 5, so ist es für die Zwecke der Justirung und der Messung vollständig ausreichend, von den auf dem Plattenbild enthaltenen Objekten auf der Erdoberfläche noch *ein* Objekt hinsichtlich seiner Entfernung von den beiden Aufnahmepunkten zu kennen. Ist die Sonne auf den Platten, wie das bei photogrammetrischen Landschaftsaufnahmen in der Regel der Fall ist, nicht vorhanden, so müssen die beiden Fixpunkte natürlich auf der Erde gesucht werden. Das Verfahren bei der Justirung ist dann in allen Fällen so, dass man die an der Theilung *a* (Fig. 1) abgelesene *Differenz der Einstellungen* der wandernden Marke auf gleiche Entfernung mit jedem der beiden Fixpunkte *bis auf* $\pm$ *0,01 mm gleich macht der Differenz der beiden parallaktischen Verschiebungen* (letztere in den bezüglichen Projektionen gemessen), welche sich aus den bekannten Entfernungen der beiden Fixpunkte, aus der Standlinie, dem Neigungswinkel der Standlinie zum Plattenhorizont und der Objektivbrennweite durch Rechnung ableiten. Bei dieser Art der Feinjustirung der beiden Platten, wird von dem auf den Platten befindlichen Horizont nur insoweit Gebrauch gemacht, als er bei der Einstellung der Platte P_2 auf einen bestimmten Positionswinkel Verwendung findet. Für die Erzielung der Gleichheit des Positionswinkels auf beiden Platten ist er im Allgemeinen nicht zu gebrauchen. Hierfür können nur die in der Landschaft selbst enthaltenen trigonometrisch festgelegten Bildpunkte benutzt werden. Ueber ein Verfahren, auch ohne solche Fixpunkte die Justirung und die Ausmessung der Platten vorzunehmen, siehe den nächstfolgenden Abschnitt IV, die Grundzüge der Stereo-Photogrammetrie.

Die Genauigkeit der stereoskopischen Parallaxenbestimmung (siehe auch *S. 70*). Hierfür ist in erster Linie die *Fähigkeit des Beobachters,* stereoskopisch zu sehen, entscheidend. Ueber diesen Punkt habe ich bereits in meinen früheren, oben erwähnten Veröffentlichungen[1]) ausführliche Angaben gemacht, die dahin lauten, dass Personen, welche scharfe Augen haben und diese bei ihrer täglichen Beschäftigung in gleichmässiger Uebung haben erhalten können, die Fähigkeit besitzen, *im freien Sehen Tiefenunterschiede im Betrage von 10″ und noch weniger als solche zu erkennen.* Im Allgemeinen sind daher für normalsichtige Beobachter Tiefenunterschiede im Betrage von $^1/_2{}'$ noch leicht erkennbar und dieser Werth ist daher auch bisher der Berechnung der Fehlertabellen für den stereoskopischen Entfernungsmesser[2]) stets zu Grunde gelegt worden.

Beim Stereo-Komparator wollen wir in Anbetracht des Umstandes, dass das photographische Bild wegen des „Kornes" der Platte selten die Schärfe des reellen

[1]) In Sonderheit siehe den Aufsatz über die Prüfungstafel, *diese Zeitschr.* **21.** *S. 258. 1901.*

[2]) Siehe die bezüglichen Prospekte und Gebrauchsanweisungen.

Bildes im Fernrohr besitzt, die *Grenze der Tiefenunterscheidung im freien Sehen auf rund 1′ bemessen, uns aber dabei stets vergegenwärtigen, dass gute Beobachter an guten Platten noch gut den sechsten Theil dieses Werthes als Tiefenunterschied zu erkennen vermögen.*

Einer Aenderung des Konvergenzwinkels der Augenachsen im Betrage von 1′ entspricht nun aber bei Benutzung der am Stereo-Komparator angebrachten Okulare ($f = 30$ *mm*) eine parallaktische Verschiebung des Bildpunktes in der Bildfeldebene im Betrage von 0,009 *mm*, und da bei Anwendung der mittleren der drei Mikroskopvergrösserungen (4-, 6- und 8-fach) die Bilder auf der Platte in gleicher Grösse in der Bildfeldebene der Mikroskope abgebildet werden, so gilt die angegebene Fehlergrenze, *die wir für die nachfolgenden Rechnungen auf* ± *0,01 mm abrunden wollen*, auch für die Platte selbst. Bei Benutzung der beiden anderen Mikroskopvergrösserungen (4-fach und 8-fach) sind die Fehlerwerthe natürlich etwas grösser bezw. kleiner.

Aus dem vorstehend bezeichneten *linearen* Grenzwerth der Tiefenunterscheidung ($da = \pm 0{,}01$ *mm*) und der gegebenen Brennweite F des Objektivs, mit dem die Aufnahme erfolgt ist, lässt sich nun sofort auch *für den Objektraum* der Grenzwerth der Tiefenunterscheidung in Winkelmaass ausrechnen und man erhält den *kleinsten Richtungsunterschied der Strahlen im Objektraum*, den ein normaler Beobachter noch gut erkennen kann, für den mittleren Theil der Platte zu da/F[1]) oder, was dasselbe ist, zu δ/V, sofern man unter δ den oben angegebenen Grenzwinkel der Tiefenunterscheidung im freien Sehen (rund 1′) und unter V die Fernrohrvergrösserung versteht, welch' letztere sich ebenfalls für den mittleren Theil der Platte aus der gegebenen Brennweite F des photographischen Objektivs und der Okularbrennweite ($f = 30$ *mm*) des Stereo-Komparators berechnet zu $V = F/f$. So erhalten wir z. B. für eine Brennweite von 170 *mm* bei photogrammetrischen Aufnahmen den kleinsten, noch gut erkennbaren Richtungsunterschied der Strahlen im Objektraum zu 12″ und für eine Brennweite von 3,4 *m*, wie sie dem für die Himmelskarte bestimmten Objektiv eigen ist, denselben Richtungsunterschied zu 0,6″, wobei ich aber noch einmal hervorheben will, dass unter Umständen noch gut der sechste Theil dieses Betrages (also 2″ bezw. 0,1″) erkannt werden kann.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, dass sich die Genauigkeit der stereoskopischen Parallaxenbestimmung durch Anwendung von photographischen Objektiven von immer grösserer Brennweite nach Belieben steigern lässt. Das hat natürlich in den Dimensionen der Apparate und in dem Kostenpunkt seine Grenzen. Ich glaube aber, dass man in dieser Beziehung keine allzu hohen Anforderungen zu stellen braucht und dass es jedenfalls rationeller ist, mehr Werth auf die *Auswahl eines geeigneten, im stereoskopischen Sehen besonders befähigten Beobachters* als auf eine besonders lange Brennweite zu legen. Ueberdies giebt es Gründe — in Sonderheit auf astronomischem Gebiet, wie wir später noch sehen werden — welche die Anwendung relativ kurzer Brennweiten für die Zwecke der Parallaxen-Bestimmung geradezu als einen besonderen Vorzug erscheinen lassen.

(Fortsetzung folgt.)

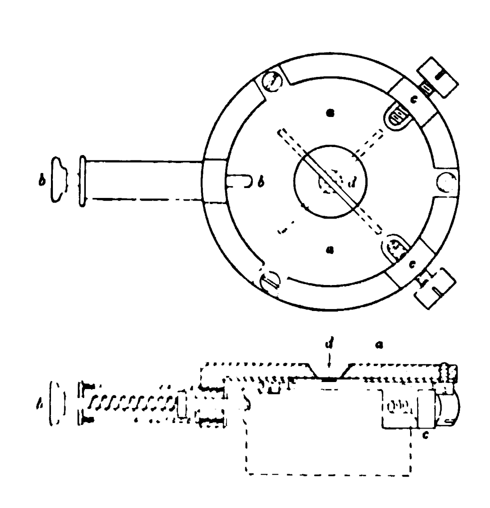
---

[1]) Für die weiter ab von der Mitte der Platte gelegenen Bildpunkte sind natürlich diese Richtungsunterschiede wegen des grösseren Abstandes der Bildpunkte vom Objektiv — der Werth für da bleibt für alle Theile der Platte ungeändert — entsprechend kleiner.

Einfache Einrichtung zur Beleuchtung der Fäden eines Kollimators.

Von
C. A. de Campos-Rodrigues in Lissabon.

Der Kollimator des Repsold'schen Meridiankreises auf der Kgl. Sternwarte zu Lissabon-Tapada besass ursprünglich weder eine Einrichtung zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes, um den beweglichen Faden des Meridiankreises auf den des Kollimators, noch eine solche, um den letzteren Faden auf die Mire einstellen zu können[1]). Es wurde dies auf folgende Weise erreicht. Um die zweite der angeführten Einstellungen zu ermöglichen, wurden um die erleuchtete Oeffnung, welche als Mire dient, vier durchscheinende Scheiben angebracht, die von derselben Blendlaterne beleuchtet werden, wie die Mire selbst. Auf diese Weise wird das Gesichtsfeld des auf die Mire gerichteten Kollimators in der Nacht erleuchtet. Um den Meridiankreis aber auf den Kollimator einstellen zu können, wird bei Nacht eine (zum Schutz gegen Wärmestrahlung von einem Holzschirm umgebene) Petroleumlampe auf einen zu diesem Zwecke angebrachten beweglichen Träger gestellt, sodass die Fäden des Kollimators dunkel auf hellem Grunde erscheinen. Da aber diese Einstellung unsicher ist, wenn man den beweglichen Faden des Meridiankreises mit dem des Kollimators zur Deckung bringt und beide Fäden dunkel sind, und um sich ferner die doppelte Arbeit zu sparen und die Schwierigkeit zu vermeiden, welche der Einstellung auf Lichtlinien anhaftet, werden die Fäden des Kollimators durch dieselbe Lampe in der sogleich näher erläuterten Weise hell beleuchtet, sodass man nun, wenn man die Fäden zur Deckung bringt, mit Leichtigkeit die geringste Differenz in der Breite der Lichtstreifen neben dem beweglichen Faden des Meridiankreises wahrnehmen kann. Der wahrscheinliche Fehler einer solchen Einstellung beträgt $\pm 0{,}06''$.



Der in der Figur in etwa natürlicher Grösse abgebildete kleine Apparat, mit dessen Hülfe die Kollimator-Fäden hell beleuchtet werden, ist äusserst einfach und kann an jedes Fernrohr, ohne etwas an ihm zu ändern, angesetzt werden. Es ist eine zentrisch durchbohrte Platte *a*, die man mit einem Federbolzen *b* und zwei entsprechenden Anschlägen *c* auf dem Okulardeckel befestigt und die im Zentrum eine undurchsichtige Fläche *d* hat, die etwas grösser ist als das Bildchen des Objektives, welches man aus einiger Entfernung vom Okular in diesem erblickt. Die undurchsichtige Fläche bewirkt, dass die Fäden nur von den Seiten Licht erhalten, sodass die Fäden hell auf dunklem Grunde erscheinen. Die Platte *a* besteht aus Messing und lässt sich durch zwei Schrauben in *c* und die eine Feder *b* leicht auf dem Okulardeckel zentriren. Die undurchsichtige Fläche wird durch die Kreuzungsstelle zweier schmaler Streifen aus dünnem Silberblech gebildet, die im Winkel von 45° zu der Richtung der zu beleuchtenden Fäden orientirt sind, da in dieser Stellung die Beleuchtung am günstigsten ist. Soll nur ein Satz paralleler Fäden beleuchtet

[1]) Der Meridiankreis zu Tapada besitzt nur eine Mire und einen Kollimator.

werden, so genügt *ein* zu diesen Fäden paralleles Blechstreifchen; die dazu senkrechten Fäden sind aber dann fast gar nicht sichtbar.

Die Zentrirung mittels der Schrauben ist sehr einfach und genau, wenn man das Okular mit der Platte daran vom Kollimator abnimmt und nun, das Okular als Lupe benutzend, von der sonst dem Objektive zugekehrten Seite die undurchsichtige Fläche und den von ihr freigelassenen Raum betrachtet[1]).

Die Thätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1901.

(Fortsetzung von S. 124.)

B) Schwachstrom-Laboratorium[2]).

1. Uebersicht über die laufenden Prüfungsarbeiten.

Im Jahre 1901 wurden auf Antrag geprüft
38 Proben Leitungsmaterial (12 Anträge);
1 Probe Widerstandsmaterial;
176 Einzelwiderstände;
52 Widerstandssätze (16 Kompensationsapparate, 7 Messbrücken, 15 Widerstandskästen, 9 Verzweigungs-Büchsen, 5 Vorschaltwiderstände) mit zusammen 1645 einzelnen Abtheilungen;
10 verschiedene Gegenstände (Widerstände von Thermoelementen, Abzweigwiderstände aus Drahtgaze u. s. w.);
125 Clark'sche Normalelemente;
39 Weston'sche Normalelemente;
87 Primärelemente (8 Anträge);
6 Akkumulatoren (3 Anträge).

Die geprüften Einzelwiderstände setzen sich aus 115 Draht- und 61 Blech-Widerständen zusammen. Für 185 der oben angeführten 228 Widerstände und Widerstandssätze war nach Mittheilung der Verfertiger Manganin als Widerstandsmaterial gewählt, für 11 (ältere) Widerstände, die neu justirt worden waren, Konstantan; für 28 Stück ist das verwendete Material nicht angegeben, während 4 Widerstände englischer Herkunft, die aus Italien zur Prüfung eingesandt wurden, aus Platinsilber bestanden.

Bei 155 Apparaten liegen Angaben des Verfertigers über den Besteller vor; danach waren 80 Apparate für das Ausland bestimmt (31 für Amerika, 15 für Russland, 13 für Holland, 9 für Oesterreich-Ungarn, 4 für die Schweiz, je 3 für Schweden und Japan, 2 für England).

Für die verschiedenen Laboratorien der Reichsanstalt wurden 20 Einzelwiderstände und 9 Widerstandskästen (mit etwa 200 einzelnen Abtheilungen) sowie 4 Kadmium-Elemente gemessen.

2. Nachprüfung von Blechwiderständen aus den Jahren 1897 bis 1899.

Die für das Berichtsjahr in Aussicht genommene Nachprüfung von kleinen Widerständen (nach den Modellen der Reichsanstalt), die nach der erstmaligen Beglaubigung sich mehrere Jahre im praktischen Gebrauch befunden haben, hat im Oktober 1901 stattgefunden.

Auf die Aufforderung der Reichsanstalt wurden von zehn verschiedenen elektrotechnischen Fabriken und Laboratorien 31 Widerstände zur Verfügung gestellt; je 3 Stück waren von Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. und Siemens & Halske in Berlin,

---

[1]) Die vorstehende Mittheilung ist von Hrn. Dr. Meyermann in Göttingen übersetzt worden. Dass das Verfahren ein gutes Resultat liefert und die Einstellung der beweglichen Fäden auf den um ein ganz Weniges breiter erscheinenden hellen Fäden des Kollimators thatsächlich eine sehr genaue ist, haben Versuche bewiesen, die Hr. Prof. Dr. Ambronn, wie er der Redaktion mittheilte, mit einem improvisirten Apparat am Göttinger Meridiankreis angestellt hat. *Die Red.*

[2]) Lindeck.

die übrigen 25 von O. Wolff in Berlin angefertigt. Die Widerstände sind sämmtlich in den Jahren 1897 bis 1899 in der Reichsanstalt als Präzisionswiderstände beglaubigt worden; die Plomben waren bis auf die eines Widerstandes (von 0,0001 Ohm) unverletzt.

Die folgende Zusammenstellung enthält die Ergebnisse der Prüfung. Die Zeit, während welcher die Widerstände im praktischen Gebrauch waren, beträgt im Mittel 3 Jahre.

Widerstandsbetrag in Ohm	Die beobachtete Aenderung in Prozenten des Sollwerthes beträgt		
	0,00 bis 0,02%	0,02 bis 0,05%	0,05 bis 0,10%
0,01	bei 8	2	— Stück
0,001	„ 8	2	1 „
0,0001	„ 5	1	2 „
	Summe: 21	5	3 „

Bei einem Widerstand von 0,01 Ohm wurde in 4 Jahren eine Abnahme des Widerstandes von 0,12%, bei einem von 0,001 Ohm in 2½ Jahren eine Zunahme von 0,23% beobachtet, sodass also nur 2 der 31, sämmtlich aus Manganin bestehenden Widerstände die Beglaubigungsfehlergrenze für Präzisionswiderstände (0,1%) überschritten haben. Dieses Ergebniss ist sehr günstig, da die Widerstände zum Theil häufig und mit hohen Stromstärken benutzt wurden; so war z. B. der 0,001 Ohm-Widerstand, der sich um 0,23% geändert hat, nach Angabe des Besitzers schätzungsweise drei Stunden täglich mit Strömen bis 500 Amp. dauernd im Betrieb. Der 0,0001 Ohm-Widerstand, dessen Plombe zerrissen war, wurde im Durchschnitt wöchentlich etwa 16 Stunden benutzt mit Stromstärken bis zu 2400 Amp. Dabei ist er einmal so warm geworden, dass das Zinnloth zwischen den Kupferstücken (die ausserdem noch durch Schrauben zusammen gehalten sind) schmolz. Trotzdem ist der Widerstand nur um 0,08% in 2¾ Jahren angestiegen. Eine ausführliche Veröffentlichung über die Konstanz kleiner Manganin-Widerstände wird demnächst erfolgen. Ueber die Uebereinstimmung der Messungen verschiedener Beobachter an solchen kleinen Widerständen vgl. den Bericht des elektrischen Laboratoriums der Abtheilung I.

3. Normal-Elemente.

Bei den zur Prüfung eingesandten Clark-Elementen lag die Abweichung vom Normalwerth ($1{,}432_8$ Volt bei 15° C.)

bei 40 Stück zwischen 0,0000 und 0,0004 Volt
„ 58 „ „ 0,0004 „ 0,0007 „
„ 9 „ „ 0,0007 „ 0,0010 „
„ 11 „ über 0,0010 Volt
und 7 „ zeigten veränderliche Werthe.

97 Clark-Elemente wurden beglaubigt; 28 Stück (fast ausschliesslich von einer Firma eingesandt) mussten zurückgewiesen werden, theils weil sie die Fehlergrenze von 0,001 Volt überschritten, theils wegen anderer Mängel (Inkonstanz der Werthe, Undichtheit u. s. w.).

Bei den zur Prüfung eingereichten Weston'schen Elementen wurden bei Zimmertemperatur folgende Werthe beobachtet:

bei 3 Stück 1,0189 Volt
„ 12 „ 1,0190 „
„ 11 „ 1,0191 „
„ 10 „ 1,0192 „ ;
ein Element war unterbrochen.

Als Durchschnittswerth aus 107 in den letzten drei Jahren geprüften Weston'schen Elementen ergiebt sich 1,0191 Volt, bezogen auf den Normalwerth des Kadmium-Elementes mit Ueberschuss an Krystallen (1,0186 Volt bei 20° C.). Ausser den Weston'schen Elementen wurden auch 2 nach den Vorschriften der Reichsanstalt hergestellte Kadmium-Elemente zur Prüfung eingesandt.

4. Normalelemente für den eigenen Gebrauch[1].

Die im vorigen Bericht erwähnten, für den Bedarf der Reichsanstalt im Jahre 1900 hergestellten Kadmium-Elemente (über 50 Stück) sind im März, Mai und August 1901 sorgfältig mit einander und mit den Elementen aus dem Jahre 1899 verglichen worden.

In der im Berichtsjahr erfolgten ausführlichen Veröffentlichung der Untersuchungen an diesen Elementen (Anh. Nr. 34) ist bereits darauf hingewiesen, dass bald nach der Herstellung der Elemente vom Jahre 1900 sich eine Differenz von 0,0003 Volt zwischen den Elementen aus den Jahren 1899 und 1900 ergab. Diese Differenz war in einigen Wochen auf etwa 0,0002 Volt zurückgegangen, ist aber dann in diesem Betrag nach den im Berichtsjahr vorgenommenen Messungen bestehen geblieben, sodass die in der zitirten Veröffentlichung ausgesprochene Vermuthung, die Differenz würde im Laufe der Zeit ganz verschwinden, sich nicht bestätigt hat. Es wurde aber schon damals durch Versuche nachgewiesen, dass der Grund für das abweichende Verhalten beider Elementensorten im Merkurosulfat zu suchen ist.

Durch eine umfangreiche Untersuchung im vergangenen Jahr, die noch nicht zum Abschluss gelangt ist, wurde gefunden, dass in der That nicht nur Proben von Merkurosulfat verschiedener Firmen, sondern auch Proben, die von derselben Firma zu verschiedenen Zeiten bezogen sind, dauernde Unterschiede von $\pm$ 0,0002 Volt vom Mittel ergeben können, eine Grösse, die allerdings auch für feine physikalische Messungen zur Zeit kaum mehr in Betracht kommt.

Versuche an selbst hergestellten Proben von Merkurosulfat haben gezeigt, dass die Temperatur, bei der es aus Merkuronitrat durch Natriumsulfat gefällt wird, von Einfluss auf das elektromotorische Verhalten sein kann. Es ist zu hoffen, dass die Fortsetzung der Untersuchungen ein Mittel an die Hand geben wird, um ein Merkurosulfat von stets gleicher elektromotorischer Wirkung herstellen zu können. Da die Elemente, die mit derselben Sorte Sulfat zusammengesetzt sind, auf wenige hunderttausendtel Volt übereinstimmen, so würde durch eine bessere Definition des anzuwendenden Merkurosulfats ein weiterer Fortschritt in der Reproduktion von Normalelementen (sowohl von Clark- wie von Weston'schen Elementen) erreicht werden.

5. Kundt'sche Widerstände.

Die etwa 30 Kundt'schen Widerstände, die im vorigen Thätigkeitsbericht erwähnt sind, wurden im Juli und November des Berichtsjahres wiederum gemessen. Es liegt nunmehr ein umfangreiches Beobachtungsmaterial vor, das eine recht befriedigende Konstanz der meisten untersuchten Widerstände erkennen lässt und das demnächst veröffentlicht werden wird.

6. Pyrometrische Arbeiten.

Betreffs der in Gemeinschaft mit dem Laboratorium für Wärme und Druck angestellten pyrometrischen Arbeiten vgl. *S. 149.*

C) Magnetisches Laboratorium[2].

1. Uebersicht der Prüfungsarbeiten.

	Anzahl
I. Messapparate.	
Magnetisirungsapparate (nach Köpsel) der Firma Siemens & Halske A.-G.	1
Magnetische Waagen nach du Bois	2
II. Materialien.	
Gehärteter Stahl	2
Stahlguss, Gusseisen, Walzeisen	44
Dynamoblech	9
Unmagnetisches Material (davon ein Stab nach Abkühlung auf 0°; −10°; −20°; −30°; −44°)	2

Ausserdem wurde bei 6 für Elektrizitätszähler bestimmten Hufeisenmagneten mittels einer Induktionsspule, die man von einem Anschlage aus über den einen Pol herabfallen liess, die Anzahl der zwischen den Polen verlaufenden Kraftlinien am Anfang und am Ende von $2^1/_2$ Monaten gemessen, während deren die Magnete ruhig lagerten; die hierbei ermittelte

[1]) Jaeger, Lindeck.

[2]) Gumlich, Schmidt.

Abnahme der Stärke lag zwischen 0,2% und 0,5%. Bei einem dieser Magnete wurde auch der Temperaturkoeffizient für das Intervall 0° bis 60° ermittelt; derselbe ergab sich zu etwa $0{,}0002_0$.

2. Vergleichung von Untersuchungsmethoden für magnetische Materialien.

Für das neue Joch aus Schmiedeeisen sind in der Werkstatt der Reichsanstalt eine neue Magnetisirungsspule, mehrere Sekundärspulen und eine Anzahl von Klemmbacken und Vollbacken für Kugelkontakte aus demselben Material hergestellt worden, aus dem das Joch selbst besteht. Mit diesem Joch wurde, zunächst unter Anwendung der Klemmbacken, eine grössere Zahl von 6, 8 und 10 *mm* dicken zylindrischen Stahlgussstäben von möglichst verschiedener magnetischer Güte untersucht. Es musste dabei dem hier ganz besonders deutlich hervortretenden Umstande Rechnung getragen werden, dass bei der Untersuchung im Joch der Verlauf der Induktionskurven in sehr viel höherem Maasse von der Grösse der angewandten Sprünge des magnetisirenden Stromes abhängt, als bei der Untersuchung mit dem Magnetometer. Während nämlich, wie früher nachgewiesen wurde[1]), bei der Magnetometermethode Differenzen zwischen stetiger und unstetiger Magnetisirung hauptsächlich nur an den steilen Stellen der Magnetisirungskurve auftreten, an den flacheren Stellen aber, welche höheren Werthen der Induktion zugehören, verschwinden, wird bei der Jochmethode auch die Maximalinduktion ($\mathfrak{B}$ etwa 16000 bis 19000) noch in beträchtlichem Maasse von der Grösse der angewandten Sprünge beeinflusst, und zwar in dem Sinne, dass grössere Sprünge höhere Induktion bewirken. Es ändert sich somit die Gestalt der Scheerungskurve nicht nur mit der Natur des zu untersuchenden Materials, sondern auch mit der Grösse der einzelnen, bei der Messung verwendeten Induktionssprünge, was namentlich insofern eine beträchtliche Komplikation bedeutet, als man ja bei dem zu untersuchenden Material im Allgemeinen die Anzahl der Induktionslinien, welche einem bestimmten Sprunge des magnetisirenden Stromes entspricht, noch nicht kennt. Um den Einfluss dieser bisher noch wenig beachteten Fehlerquelle möglichst zu verringern, wurde bei den vorliegenden Untersuchungen die Grösse der Sprünge stark vermindert, ihre Anzahl also entsprechend vergrössert, eine Mehrarbeit, die sich voraussichtlich späterhin auch bei den laufenden Prüfungen kaum wird umgehen lassen, ohne die Genauigkeit der Resultate zu schädigen.

Die mit Klemmbacken untersuchten Stäbe werden zur Zeit nach Anschleifen von Kugelkontakten nochmals im Joch, zum Theil auch in der magnetischen Waage von du Bois untersucht und schliesslich zum Ellipsoid abgedreht.

Auf das Ersuchen der Hysteresis-Kommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker betheiligte sich das magnetische Laboratorium an der Untersuchung von 8 Eisenblechproben, für welche bereits von sieben deutschen Elektrizitätsfirmen der Hysteresis- und Wirbelstromverlust nach der von Hrn. Prof. Epstein[2]) angegebenen Anordnung bestimmt worden war.

Zunächst wurde für sämmtliche Proben der Hysteresisverlust bei Induktionen von $\mathfrak{B} = 6000$; 10000; 15000 nach der Jochmethode ermittelt; die gefundenen Werthe lagen durchweg noch höher als die höchsten der nach dem Wattmeter-Verfahren erhaltenen.

Sodann wurden zwei von den Blechproben auch mittels des Wattmeters nach der Epstein'schen Methode genauer untersucht, wobei zur Trennung in Hysteresis- und Wirbelstromverlust die bekannte Formel $W/p = \eta \cdot \mathfrak{B}^{1,6} + f \cdot \mathfrak{B}^2 \cdot p$ diente. Es ergab sich hierbei u. A. eine deutliche Einwirkung der im Lauf der Versuche auftretenden Erwärmung der Eisenproben in dem Sinne, dass der Wirbelstromverlust und somit auch der gesammte Eisenverlust mit der Dauer des Versuchs abnimmt. Diese Abnahme betrug beispielsweise in einem speziellen Falle ($\mathfrak{B} = 10000$; $p = 50$) innerhalb 45 Minuten etwa 2,6%; sie bewirkt auch, dass man nicht genau zu denselben Werthen von η und f gelangt, je nachdem man von niedrigen Periodenzahlen p anfangend zu höheren aufsteigt, oder umgekehrt. Dagegen führten die Messungen des gesammten Eisenverlustes bei Benutzung von zwei verschiedenen

---

[1]) *Elektrotechn. Zeitschr.* **21.** *S. 233. 1900.*

[2]) *Elektrotechn. Zeitschr.* **21.** *S. 303. 1900.*

Wechselstrommaschinen, einer eisenlosen und einer eisenhaltigen mit beträchtlich abweichender Kurvenform, zu nahezu identischen Resultaten; die maximale Differenz betrug nur etwa 1%. Da die in den betheiligten elektrotechnischen Fabriken ausgeführten Versuche wohl hinsichtlich des gesammten Eisenverlustes, nicht aber hinsichtlich der Trennung in Hysteresis- und Wirbelstromverlust befriedigende Uebereinstimmung ergaben, so wurde auf der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker zu Dresden beschlossen, von einer derartigen Trennung zunächst vollständig abzusehen und als maassgebend den Gesammtverlust im Eisen zu betrachten, der für $\mathfrak{B}_{max} = 10000$ und 50 Perioden bei rund 30° C. eintritt und als „Verlustziffer" in Watt pro *kg* anzugeben ist. Der grösseren Einfachheit und des geringeren Materialverlustes wegen wurde zunächst die von Hrn. Prof. Epstein vorgeschlagene Versuchsanordnung empfohlen. Es sollten jedoch bis zur definitiven Entscheidung auf der diesjährigen Versammlung zu Düsseldorf durch die Reichsanstalt Vergleiche zwischen den Angaben des Apparats von Epstein und des theoretisch vollkommneren Apparats von Möllinger[1]) vorgenommen werden, durch welche namentlich festzustellen wäre, ob man der beim Epstein'schen Apparat jedenfalls vorhandenen grösseren Streuung an den Ecken durch eine einfache Korrektion der Resultate Rechnung tragen kann.

3. Versuche über die Aenderung der magnetischen Eigenschaften des Eisens durch Ausglühen.

Für die mit Hülfe eines elektrisch geheizten Ofens von Neuem aufzunehmenden Versuche über die Aenderung der magnetischen Eigenschaften des Eisens durch Ausglühen ist nach Fertigstellung des Ofens eine Anzahl von Vorarbeiten (Bestimmung der Temperaturvertheilung, der Lage der kritischen Punkte u. s. w.) ausgeführt worden. Hr. Prof. Heyn von der mechanisch-technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg hat sich zur Betheiligung an den weiteren Versuchen bereit erklärt und wird die mikroskopische Untersuchung der Struktur der bei den Versuchen benutzten Proben ausführen.

III. Arbeiten, betreffend Wärme- und Druckmessungen.

1. Uebersicht über die laufenden Arbeiten[2]).

Die im Jahre 1901 ausgeführten laufenden Prüfungsarbeiten sind in nachfolgender Uebersicht zusammengestellt:

14 475 Thermometer,
205 Zähigkeitsmesser,
98 Petroleumprober,
7 Siedeapparate für Mineralöle,
11 Federmanometer, darunter 6 Hochdruckmanometer,
1 Quecksilbermanometer,
50 Barometer,
5 Aneroidbarographen,
530 Thermoelemente,
14 Indikatorfedern,
1 303 Legirungskörper für Dampfkessel-Sicherheitsapparate,
1 Junkers'sches Kalorimeter.

Ausserdem wurden untersucht:

8 Senkaräometer,
5 Glassorten auf Dichte, eine davon auch auf Ausdehnung,
6 Thermometer aus mehreren neuen Glassorten einer Thüringer Firma,
3 Proberöhren für Tiefseethermometer auf Drucke bis 800 *kg/qcm*,
1 Gummischlauch auf Drucke bis 30 *kg/qcm*,
1 Heizapparat und 1 Gaskocher in Bezug auf Gasverbrauch und Heizwirkung,
9 Sorten Petroleum auf Entflammung und andere Eigenschaften.

Die geprüften Thermometer vertheilen sich auf die verschiedenen Gattungen wie folgt:

11 859 gewöhnliche ärztliche und ärztliche Maximumthermometer,
14 Zeigerthermometer nach Immisch,

---

[1]) *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 379. 1901.*

[2]) Wiebe, Grützmacher, Rothe, Möller, Schwirkus, Hebe.

508 feinere Thermometer mit Korrektionsangabe in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
1 178 Thermometer mit Korrektionsangabe in 0,1°, geprüft wie vorher,
20 Insolationsthermometer,
41 Tiefseethermometer,
393 Thermometer für Temperaturen bis 300°,
308 hochgradige Thermometer für Temperaturen über 300° bis 575°,
56 Siedethermometer,
84 Thermometer für Temperaturen unter 0° (darunter 7 Petrolätherthermometer bis — 190°),
14 Beckmann'sche Thermometer,

zusammen 14 475 Thermometer.

Hiervon waren 2660 Stück wegen Nichteinhaltung der Prüfungsbestimmungen unzulässig, 261 gingen beschädigt ein, 66 wurden während der Prüfung beschädigt. Im Ganzen sind demnach 2987 Stück = 20,6% der zur Prüfung eingereichten Thermometer zurückgewiesen worden, was gegen das Vorjahr eine Zunahme von 2% ausmacht. Die grösste Anzahl davon entfällt auf die ärztlichen Thermometer, die überdies um rd. 3200 Stück gegen das Vorjahr zurückgegangen sind. Erst in den beiden letzten Monaten des Berichtsjahrs hat sich die Anzahl der eingesandten ärztlichen Thermometer[1]) wieder gesteigert und sogar ein ungewöhnlich hohes Maass erreicht.

Die übrigen Thermometer-Prüfungen haben dagegen durchweg eine Zunahme erfahren, was wohl als Beweis dafür betrachtet werden darf, dass die Fabrikation der feineren Thermometer und solcher für spezielle Zwecke im Aufschwung begriffen ist. So sind z. B. 41 Tiefseethermometer zur Prüfung eingereicht, die sämmtlich in Deutschland hergestellt waren, während im vorigen Jahre noch die grössere Anzahl der eingereichten Tiefseethermometer aus dem Auslande (Russland) stammte. Andere neuere Spezialitäten sind Petrolätherthermometer und Beckmann'sche Thermometer mit variabler Quecksilberfüllung. Die bedeutende Zunahme der feineren und meteorologischen Thermometer (27% gegen 1900 und 47% gegen 1899) hat z. Th. ihren Grund in der Ausrüstung der verschiedenen Südpolar-Expeditionen, der Fangschiffe für die internationale Meereserforschung und Bestellungen der Japanischen Regierung. Diese Bestellungen, sowie manche andere, welche vom Ausland eingingen, sind z. Th. mit auf die glänzenden Erfolge der deutschen Abtheilung der Pariser Weltausstellung (vgl. den Bericht über die Thermometer und Barometer auf der Pariser Weltausstellung von Wiebe in der *Deutschen Mech.-Ztg. 1901* und in der *Zeitschr. f. d. Glasinstr. 1901*) zurückzuführen (Anh. Nr. 51 u. 52).

Die Frage der Ausmerzung der Réaumur-Thermometer hat inzwischen eine weitere Förderung dadurch erfahren, dass auf Veranlassung des Hrn. Reichskanzlers eine grössere Reihe der Bundesstaaten ähnliche Verfügungen erlassen haben, wie sie bereits für Preussen durchgeführt sind. Andere Bundesstaaten gestatten noch für eine Uebergangszeit von 2 bis 5 Jahren den weiteren Gebrauch der vorhandenen Réaumur-Thermometer, während für Neuanschaffungen nur Thermometer mit hunderttheiliger Skale in Betracht kommen. Nur von Seiten zweier Regierungen sind Einwände erhoben, die sich einerseits auf die Verordnungen des Bundesraths über die Branntweinsteuer und andererseits auf die für den Export bestimmten Thermometer beziehen. Letzter Einwand deckt sich auch mit einer Eingabe des Vereins Deutscher Glasinstrumenten-Fabrikanten in Ilmenau.

2. Thermometer-Prüfungsstellen unter Kontrole der Reichsanstalt.

Im Laufe des Berichtsjahres fand die vorschriftsmässige Revision der Grossherzoglich Sächsischen Prüfungsanstalt zu Ilmenau statt, während diejenige der Gehlberger Prüfungsstelle ausgefallen ist.

3. Arbeitsnormale für die Reichsanstalt[2]).

Die Vergleichung der Gebrauchsnormale mit den Hauptnormalen in Temperaturen zwischen 50° und 100° ist zu einem vorläufigen Abschluss gebracht. Die etwa nöthigen Superkorrektionen sind berechnet, die Fehlertafeln aufgestellt und die Instrumente in Ge-

[1]) Hebe.
[2]) Grützmacher.

brauch genommen. Die Abweichungen von den Hauptnormalthermometern betrugen theilweise bis zu 0,02°, über die Ursache derselben werden noch weitere Versuche angestellt werden.

Für zwei zur Prüfung von Siedethermometern bestimmte Arbeitsnormale wurden nach beendeter Kalibrirung und Vergleichung mit den Hauptnormalthermometern Gradwerthbestimmungen ausgeführt und Fehlertafeln aufgestellt.

Zwei Thermometer bis —35° und ein Normal zwischen 200° und 300° sind fertig kalibrirt.

4. Hochgradige Thermometer[1]).

Unter den geprüften 645 Thermometern für höhere Temperaturen waren 337 für Temperaturen bis 300° und 308 für Temperaturen über 300° bis 575°.

Von den hochgradigen Thermometern waren 34 Stück Fabrikthermometer, z. Th. in Längen bis 1,5 *m*, 6 Stück waren aus Jenaer Verbrennungsröhrenglas.

Von den 149 unzulässigen hochgradigen Thermometern mussten 44 Stück wegen ungenügender Alterung zurückgewiesen werden, was nahezu 7% der Gesammtzahl der hochgradigen Thermometer ausmacht. Dieser Umstand lässt es rathsam erscheinen, dass die Thermometer-Fabrikanten von dem Anerbieten der Firma Schott & Gen. in Jena, das Auskühlen der Thermometer gegen Erstattung der Selbstkosten in ihren Kühlöfen zu erlauben, einen erheblich ausgiebigeren Gebrauch machen sollten, als bisher.

5. Weitere Untersuchungen an Normalthermometern[2]).

Eine besondere Untersuchung über die Korrektion wegen der Skalenausdehnung bei Einschlussthermometern aus den Gläsern 16^{III} und 59^{III} ist abgeschlossen worden; das Ergebniss besteht darin, dass die aus verschiedenen Quellen bezogenen Skalengläser sehr nahe gleiche Ausdehnungskoeffizienten besitzen, und dass die Einschlussthermometer höher als die Stabthermometer aus gleicher Glassorte stehen. Die Abweichungen erreichen zwischen 0° und 100° in der Nähe von 50° ihr Maximum und betragen dort bei den Thermometern aus Glas XVI^{III} 0,003° und bei denen aus Glas 59^{III} 0,008° (Anh. Nr. 53).

Es wurden ferner noch einige Normalthermometer aus zwei neuen Jenaer Gläsern untersucht. Das eine derselben, 335^{III}, ist für Kompensationsthermometer bestimmt, das andere alkalifreie Glas, 477^{III}, zeichnet sich durch grosses elektrisches Isolationsvermögen und äusserst geringe thermische Nachwirkung aus. Die Untersuchungsergebnisse sollen demnächst veröffentlicht werden.

6. Elektrische Temperaturmessungen[3]).

Es wurden geprüft

518 Le Chatelier'sche Thermoelemente,
5 Thermoelemente aus Platin und Platin-Nickel,
7 Thermoelemente zum Gebrauch in niederen Temperaturen,
7 Petrolätherthermometer.

a) Le Chatelier'sche Thermoelemente.

Von den angeführten geprüften Elementen entstammten 512 Stück den von der Firma W. C. Heraeus in Hanau zur Prüfung eingesandten Drahtvorräthen; die übrigen 6 waren einzeln eingereicht worden. Die Zunahme gegen das Vorjahr beträgt wiederum fast 25%.

b) Normalthermoelemente.

Die im vorigen Thätigkeitsbericht in Aussicht gestellte Veröffentlichung ist noch nicht erfolgt, weil noch andere Messungen mit den Elementen in den Kreis der Untersuchung gezogen werden mussten; zwar ist der Anschluss an die Holborn und Day'sche gasthermometrische Skale, auf welche sich seit dem 1. April 1901 die auf den Prüfungsscheinen angegebenen Werthe der elektromotorischen Kräfte beziehen, vollständig ausgeführt worden, aber 1. waren eine grössere Anzahl von Schmelzpunktsbestimmungen vorzunehmen, 2. wurden Vergleichungen der Thermoelemente mit den hochgradigen Quecksilberthermometern ausgeführt, und 3. ist eine Reihe von Schwefelsiedepunkts-Bestimmungen in Angriff genommen worden.

Zu 1. In Uebereinstimmung mit den in Abtheilung I gemachten Erfahrungen darf man sich bei der Messung an Thermoelementen, die schon einige Zeit in höheren Temperaturen verwendet oder durch Heizgase verunreinigt und hierbei auf einer beträchtlichen

[1]) Möller.
[2]) Wiebe.
[3]) Lindeck, Rothe.

Strecke inhomogen geworden sind, nicht mit einer kleinen Eintauchtiefe begnügen, welche einen starken Temperaturabfall in der Nähe der Löthstelle bedingt. Elemente z. B., die, auf einer Strecke von 30 *cm* in der Umgebung der Löthstelle erhitzt, keine Abweichung zeigen, können in dem Holborn-Day'schen Schmelzofen bei einer Eintauchtiefe von 10 *cm* über 1% andere Resultate ergeben.

Derartige Abweichungen zeigen sich aber nicht nur an Elementen, bei denen sie durch Erhitzung auf eine sehr hohe Temperatur oder durch Einwirkung schädlicher Ofengase erklärlich wären, sondern auch bei solchen nur wenig gebrauchten Normalelementen, welche nicht wesentlich über 1200° und in keinem andern Ofen als einem elektrisch geheizten, unglasirten Porzellanrohr erhitzt worden sind (vgl. über diese Punkte auch Holborn und Day, *Ann. d. Physik* **2.** *S. 540. 1900*).

Es bestätigt sich hierdurch, dass man bei genauen Messungen die Eintauchtiefe des Thermoelements sehr sorgfältig zu beachten hat. Die noch nicht vollständig aufgeklärten Ursachen der Aenderungen verdienen eine eingehende Untersuchung.

Die erwähnte Fehlerquelle wird vermieden durch ein Porzellanrohr von etwa 20 *cm* Länge, das über die aus dem Schmelzofen herausragenden Schenkel des Elements gestülpt und durch einen Heizdraht ungefähr auf die Temperatur des schmelzenden Metalls gebracht wurde, sodass das Thermoelement auf eine Strecke von etwa 30 *cm* sich in der zu bestimmenden Temperatur befindet. Kontrolversuche bis gegen 800° in einem elektrisch geheizten Zinnbade ergaben bei verschiedenen Eintauchtiefen der Elemente ähnliche Differenzen, wie sie im Tiegelschmelzofen beobachtet waren.

Bei den Schmelzpunktsbestimmungen und den Vergleichungen im Zinnbade leistete der im letzten Jahre neu angebrachte Drehstromanschluss vortreffliche Dienste, da ein etwaiger durch Isolationsfehler im Ofen herbeigeführter Uebergang des Heizstroms auf die Thermoelemente deren Thermokräfte nicht verfälscht, wie dies bei Gleichstrom der Fall ist. Für Luftbäder ist freilich der Wechselstrom nicht konstant genug, um bei genaueren Arbeiten den Gleichstrom völlig zu ersetzen.

Zu 2. Die Vergleichung der an die Holborn und Day'sche gasthermometrische Skale angeschlossenen Thermoelemente mit den hochgradigen Normalthermometern (Mahlke'sche Skale, *Wied. Ann.* **53.** *S. 965. 1894*) ergab eine Uebereinstimmung bis auf 1,5°, ein Betrag, der nahe an der Grenze der durch die Thermoelemente bei diesen Temperaturen überhaupt erreichbaren Genauigkeit liegt.

Zu 3. Die Schwefelsiedepunkts-Bestimmungen werden in einem elektrisch erwärmbaren Apparat ausgeführt. Ausser den Le Chatelier'schen Elementen werden hierbei auch solche aus Kupfer-, Eisen- und Konstantan-Drähten, sowie Platinwiderstände und hochgradige Quecksilberthermometer benutzt werden.

c) Tiefe Temperaturen[1].

Die im vorigen Bericht angeführte Methode der Herstellung konstanter tiefer Temperaturen führte zur Konstruktion eines Thermostaten, der mit Petrolätherfüllung als Badflüssigkeit bis gegen —150° brauchbar ist. Ueber diesen Apparat, sowie die damit angestellten Untersuchungen an Thermoelementen ist inzwischen eine Veröffentlichung in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 14, 33. 1902* erschienen (Anh. Nr. 37). Es ergab sich, dass die Formel[2])

$$t = \alpha e + \beta e^2,$$

wo e die Thermokraft bei t^0 C. bedeutet, sowohl für das Eisen-Konstantan-Element, für welches sie von Holborn und Wien (*Wied. Ann.* **59.** *S. 213. 1896*) aufgestellt ist, wie auch für das Kupfer-Konstantan-Element mit einer Uebereinstimmung von ± 0,5° in Temperaturen zwischen 0° und —190° Gültigkeit behält. Eine gleichzeitige Untersuchung zweier Le Chatelier'scher Elemente in tiefen Temperaturen zeigte, dass das Minimum der Thermokraft dieser Elemente bei —142° liegt.

---

[1]) Rothe.

[2]) Im letzten Thätigkeitsbericht (*diese Zeitschr.* **21.** *S. 147. 1901*) ist irrthümlich

$$e = \alpha t + \beta t^2$$

angegeben.

Weitere Vergleichungen in dem Thermostaten, bei der auch Platinwiderstände untersucht werden sollen, sind in Aussicht genommen.

d) Platinwiderstände.

Von den drei vorhandenen Exemplaren sind zwei nach dem Callendar'schen Modell verfertigt, während eines nach einer besonderen Konstruktion, die eine dauernde Trockenhaltung des Widerstandes erlaubt, hergestellt ist. Mit allen dreien sind bis jetzt nur Fundamentalpunkts-Bestimmungen, sowie einige relative Vergleichungen in tiefen Temperaturen vorgenommen worden. Die Ermittelung der Konstanten der Instrumente durch Aichung beim Sauerstoff-Siedepunkt bezw. Schwefel-Siedepunkt ist in Vorbereitung.

e) Petroläther-thermometer.

Die eingesandten Thermometer wurden zunächst noch mit Thermoelementen verglichen, weil die für die Abtheilung II bestimmten Normalthermometer noch nicht endgültig fertig gestellt sind. Da hinsichtlich der Trockenheit der Petrolätherfüllung bei den von verschiedenen Firmen eingesandten Thermometern im Allgemeinen keine guten Erfahrungen gemacht sind, auch über die Unveränderlichkeit ihrer Angaben noch nichts ausgesagt werden konnte, werden die Prüfungsergebnisse bislang jedes Mal nur in einem Schreiben mitgetheilt, während von einer Ausfertigung von Prüfungsscheinen für diese Thermometer vorläufig noch Abstand genommen werden muss.

7. Manometer und Barometer[1].

Es wurden 12 Manometer geprüft, darunter 1 Quecksilbermanometer bis 0,6 *kg/qcm*, 3 Dampfkesselmanometer und 6 Hochdruckmanometer, letztere bis 150 *kg/qcm*. Zwei der Reichsanstalt gehörige Federmanometer, die bei den regelmässigen Prüfungen der Indikatorfedern benutzt werden, wurden, da die vorhandenen Theilungen nicht fein genug ausgeführt waren, in der Werkstatt der Reichsanstalt mit neuen gleichmässig fortschreitenden Theilungen versehen. Auch wurde die Ablesbarkeit dadurch verbessert, dass auf die Spitze der Zeiger kleine, hochkant gestellte Metallfähnchen aufgesetzt wurden, die eine parallaxenfreie Ablesung gewährleisten.

An Barometern wurden 50 Stück (13 Quecksilberbarometer und 37 Aneroide) geprüft. Die Ausrüstung der deutschen Südpolar-Expedition mit einer grösseren Anzahl von Aneroiden gab Gelegenheit, das Verhalten dieser Instrumente bei tieferen Temperaturen (unter 0°) einer eingehenderen Untersuchung zu unterziehen. Hierbei zeigten einige der Instrumente unregelmässiges Verhalten, das allem Anschein nach auf Konstruktionsmängel zurückzuführen war. Näheres hierüber ist in der von Wiebe und Hebe in *dieser Zeitschr.* ***21.*** *S. 133. 1901* veröffentlichten Abhandlung „Ueber das Verhalten der Aneroide bei tiefen Temperaturen" mitgetheilt worden (Anh. Nr. 36).

Im Anschluss hieran wurden zwei Proben von Oelen, die zum Einölen der Achsenlager von Aneroiden bestimmt sind, auf ihr Verhalten in tiefen Temperaturen untersucht, wobei sich ergab, dass die eine Probe bereits bei 0°, die andere bei —17° zu erstarren begann.

8. Zähigkeitsmesser, Petroleumprober, Mineralöl-Siedeapparate[2].

Es wurden geprüft

205 Zähigkeitsmesser,
98 Petroleumprober,
7 Siedeapparate für Mineralöle,

zusammen 310 Apparate für Petroleumuntersuchung;

davon sind als unzulässig zurückgewiesen worden 24 Zähigkeitsmesser und 11 Petroleumprober.

Während bis zum Beginn des Berichtsjahres stets nur Zähigkeitsmesser für Oeltemperaturen bis höchstens 50° C. zur Einlieferung gelangten, werden seit einigen Monaten derartige bis zu 200° benutzbare Apparate zahlreich zur Prüfung vorgelegt.

Petroleumuntersuchungen[3].

Acht Sorten von galizischem Petroleum, bei denen es sich um eine Schiffsladung von 800 Fässern handelte, wurden auf Entflammbarkeit untersucht, als untertestig befunden und in Folge dessen von der zuständigen Behörde zur Einfuhr nicht zugelassen.

[1]) Wiebe, Schwirkus, Hebe.
[2]) Schwirkus.
[3]) Wiebe, Möller, Schwirkus.

Auf Veranlassung des Reichsmarineamts wurde eine Sorte Petroleum französischen Ursprungs mit Bezug auf ihre Brauchbarkeit in den Tropen hinsichtlich Dichte, Entflammungs- und Entzündungspunkt, Gehalt an leichten und schweren Kohlenwasserstoffen, Zähigkeit, Verhalten gegen höhere Temperaturen bei längerem Lagern u. s. w. untersucht. Das Oel war von vorzüglicher Beschaffenheit.

9. Schmelzkörper für Dampfkessel-Sicherheitsapparate[1]).

Im Berichtsjahr wurden geprüft

1062 Legirungsringe zwischen 106° und 125°,
114 „ „ 169° „ 171°,
117 Schmelzpfropfen bei 8 *kg/qcm*,
10 „ „ 4 „ .

10. Indikatorfedern[2]).

Zur Prüfung gelangten 14 Federn, die warm und z. Th. auch kalt untersucht wurden. Die von der Firma Dreyer, Rosenkranz & Droop in Hannover gelieferte Kolbenpresse für Kaltprüfungen wurde mit einem zweiten für Drucke bis 60 *kg/qcm* bestimmten Kolben und mit entsprechenden Belastungsgewichten versehen. Der Apparat für Warmprüfungen der Federn hat eine Veränderung noch nicht erfahren, doch fanden im Laufe des Jahres mit der oben genannten Firma mehrfache Verhandlungen darüber statt, die zu einem Besuch der Fabrik seitens der Hrn. Prof. Wiebe und Schwirkus führten. Die Genannten gewannen einen Ueberblick über die Fabrikation der einzelnen Theile der Indikatoren, insbesondere über die Behandlung der Federn, und fanden zugleich Gelegenheit, unter Betheiligung des Hrn. Prof. Klein von der Technischen Hochschule zu Hannover mit den Prüfungseinrichtungen der Fabrik eingehende Versuche an Indikatoren anzustellen. Aus den Versuchen mit kalter und verschieden warmer Feder ergab sich der grosse Einfluss der Temperatur auf die Indikatorangaben, der ungefähr der Aenderung des Elastizitätskoeffizienten mit der Temperatur entspricht. Bei einem von Rosenkranz neu konstruirten Indikator, bei dem die Feder oberhalb des Zylinders liegt und in Folge dessen kalt bleibt, war hingegen ein Temperatureinfluss auf die Grösse der Hubhöhen nicht zu bemerken. Die Versuche und Verhandlungen führten zu einer Vereinbarung über verschiedene Verbesserungen, die an den vorhandenen Prüfungsapparaten anzubringen seien.

11. Sonstige Arbeiten[3]).

Es sind verschiedene Glassorten untersucht worden, z. Th. auf Dichte, Ausdehnung oder thermische Nachwirkung.

8 Senkaräometer aus Glas 59^{III} wurden auf Masse, Volumen, Einsenktemperatur untersucht, davon 3 für die deutsche Südpolar-Expedition.

Ferner wurde die Prüfung eines Junkers'schen Kalorimeters durch Verbrennung von Wasserstoff in demselben ausgeführt.

IV. Optische Arbeiten.

1. Photometrische Prüfungen[4]).

a) Uebersicht.

Die im Jahre 1901 ausgeführten photometrischen Prüfungen sind in der folgenden Zusammenstellung enthalten:

137 beglaubigte Hefner-Lampen, davon
- 50 mit Visir,
- 60 mit optischem Flammenmesser,
- 10 mit Visir und optischem Flammenmesser,
- 11 mit optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr,
- 6 mit Visir, optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr;

1 geprüfte Hefner-Lampe mit Martens'schem Flammenmesser;
359 elektrische Glühlampen mit Kohlenfäden, davon
- 44 in Dauerprüfung mit im Ganzen 4250 Brennstunden;

22 Osmiumlampen in Dauerprüfung mit im Ganzen 4950 Brennstunden;
2 Bogenlampen System Bremer;

---

[1]) Schwirkus.
[2]) Wiebe, Schwirkus.
[3]) Wiebe, Grützmacher, Möller, Schwirkus.
[4]) Brodhun, Liebenthal.

1 Bogenlampenkohle;
180 Gasglühlichtapparate, davon
  130 in Dauerprüfung mit im Ganzen 49 350 Brennstunden und zwar
    40 für vergleichende Untersuchung von Gasglühlichtkörpern mit im Ganzen 18 000 Brennstunden,
    90 für amtliche Prüfungen mit im Ganzen 31 350 Brennstunden;
4 Gasglühlichtuntertheile besonderer Konstruktion;
12 Intensivlampen für Gasglühlicht, davon
  5 Merkur-Pressgasapparate,
  2 System Lucas,
  3 nach ähnlichem System,
  2 System Scott-Snell;
2 Azetylenglühlichtapparate;
5 Petroleumproben;
7 Petroleumglühlichtlampen, davon
  6 System Bramson,
  1 System Galkin;
1 Spiritusglühlichtlampe System Galkin;
1 Benzinglühlichtlampe;
1 linsenförmige Glasschale für Lampen.

b) Hefner-Lampen.

Die Zahl der beglaubigten Hefner-Lampen betrug 137; sie ist also gegen das Vorjahr um 37 gewachsen, jedoch gegen das Jahr 1899 noch um 12 zurückgeblieben.

c) Elektrische Lampen.

Von den in Dauerprüfung genommenen Glühlampen mit Kohlenfäden verdient eine Sorte (110 Volt, 40 HK[1]) mittlere Lichtstärke senkrecht zur Lampenachse) Erwähnung, welche zu Anfang 2,1 Watt und nach Ablauf von 200 Brennstunden etwa 2,5 Watt auf 1 HK verbrauchte.

d) Glühlicht-Intensiv-Lampen für Gas, Petroleum und Spiritus.

Das in der letzten Zeit hervorgetretene Bestreben der Beleuchtungstechnik, Glühlichtlampen von möglichst hoher Lichtstärke herzustellen, kommt auch in den diesjährigen Prüfungen des optischen Laboratoriums zum Ausdruck.

Ein Theil dieser Lampen, die sogenannten Starklichtbrenner, sind im Wesentlichen nichts Anderes als vergrösserte Gasglühlichtapparate der üblichen Konstruktion und lassen sich ohne Weiteres an Stelle der letzteren aufschrauben. Die Glühkörper besitzen eine bedeutend grössere Aufhängehöhe als gewöhnlich, nämlich 10 bis 14 *cm* gegen etwa 7 *cm* der normalen Gasglühlichtapparate. Meistens waren die Brenner mit Lochzylindern versehen. Die Lichtstärke betrug 150 bis 250 HK, der stündliche Gasverbrauch im Ganzen 200 bis 400 *l* und auf 1 HK berechnet 1,1 bis 1,7 *l*. Die Starklichtbrenner sind demnach nicht ökonomischer als die gewöhnlichen Gasglühlichtapparate.

Ausserdem wurden mehrfach Lampen eingesandt, bei welchen zur Erzielung einer höheren Lichtstärke ein neues Konstruktionsprinzip hinzugenommen ist. Von diesen werden die als Merkurlicht bezeichneten Lampen mittels eines elektromotorisch angetriebenen Pressgasapparates gespeist. Die übrigen Lampen benutzen Leuchtgas unter gewöhnlichem Druck, und zwar wird bei den jetzt sehr in Aufnahme gekommenen Lucas-Lampen und den nach ähnlichem Prinzip gebauten die sich mit dem Leuchtgase mischende Verbrennungsluft durch einen starken Luftzug angesaugt, welcher durch einen langen über dem Brenner befindlichen Schornstein erzeugt wird. Dagegen wird bei den Scott-Snell-Lampen neuesten Systems die Luft mittels einer oberhalb der Flamme befindlichen Pumpvorrichtung besonderer Konstruktion unter Benutzung der Flammenhitze einerseits und einer Wasserkühlung andererseits gepresst. Die Lichtstärke dieser Intensivlampen lag zwischen 200 und

[1]) Die Reichsanstalt wendet in Zukunft an Stelle der Bezeichnung Hefnerlicht die von dem Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern und dem Verbande Deutscher Elektrotechniker angenommene Bezeichnung Hefnerkerze mit der Abkürzung HK an (vgl. *Journ. f. Gasbel. u. Wasservers.* **40.** *S. 548. 1897*; *Elektrotechn. Zeitschr.* **18.** *S. 474. 1897*).

600 HK, der stündliche Verbrauch zwischen 250 und 630 *l*, und der auf 1 HK berechnete zwischen 0,8 und 1,5 *l*. Die Lampen sind hauptsächlich als Ersatz für Bogenlicht bestimmt.

Von Intensivlampen für Petroleum und Spiritus wurde je eine nach dem System Galkin konstruirte Laterne geprüft. Bei beiden wird der im Fusse der Lampe unter hohem Drucke befindliche Brennstoff unter Benutzung eines Druckregelers bis zu dem oberhalb des Glühkörpers befindlichen Vergaser getrieben und dort durch die Flammenhitze vergast. Dieser Prozess wird mittels einer Hülfsflamme eingeleitet, welche nachher wieder entfernt wird.

2. Vergleichende Untersuchungen über Gasglühlicht[1].

Die in Gemeinschaft mit dem Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern im Vorjahre begonnene Prüfung der zur Zeit im Handel befindlichen Glühkörper ist im Berichtsjahre fortgesetzt worden. Die Untersuchung erstreckte sich auf 6 neue Sorten und ergab im Wesentlichen dieselben Werthe wie im Vorjahre. Es betrug nämlich die mittlere horizontale Lichtstärke im Durchschnitt von 300 Stunden 70 HK; nach 300 Stunden hatte die Lichtstärke gegen die Lichtstärke zu Anfang und nach 24 Brennstunden um 39 bezw. 29% abgenommen. Der stündliche Gasverbrauch auf 1 HK im Durchschnitt von 300 Brennstunden ergab sich zu 1,8 *l*.

3. Prüfung von Saccharimetern[2].

a) Bestimmung der spezifischen Drehung des Zuckers.

Wie in dem Thätigkeitsbericht für das Jahr 1897 begründet worden ist, sollte die spezifische Drehung des Zuckers nicht nur für Natriumlicht, sondern auch für die hellsten Linien der Quecksilberlampe, besonders für die helle gelbgrüne Linie 546,1 $\mu\mu$, ermittelt werden. Zu dem Zweck wurde der grosse Polarisationsapparat in der Reichsanstalt einem Umbau unterzogen, wobei die sämmtlichen optischen Theile besondere Justirvorrichtungen erhielten, und eine zum Polarisationsapparat sicher und bequem justirbare Vorrichtung für die spektrale Zerlegung des Quecksilberlichtes gebaut. Die Einrichtungen haben sich gut bewährt.

Behufs Reinigung der im vorigen Bericht erwähnten sieben Zuckersorten durch Ausfällen des Zuckers aus wässrigen Lösungen mit Aethylalkohol wurden Vorversuche ausgeführt. Auf Grund derselben sollen die Zucker nach einer Methode gereinigt werden, die in einigen Punkten von der auf der dritten Versammlung der internationalen Kommission für einheitliche Methoden der Zuckeruntersuchungen zu Paris angenommenen „Methode der englischen Chemiker“ abweicht. Mit dieser letzten Reinigung und der sich daran schliessenden Polarisation der Zucker konnte noch nicht begonnen werden.

b) Temperaturkoeffizient der spezifischen Drehung des Zuckers.

Der Temperaturkoeffizient der spezifischen Drehung des Zuckers ist bis jetzt nur für die Normalzuckerlösung und für Natriumlicht ermittelt worden (vgl. *diese Zeitschr.* **20.** *S. 97. 1900*). Mit Rücksicht einerseits auf den Umstand, dass in der Technik mit weissem Licht gearbeitet wird, und andererseits auf die mit Quecksilberlicht auszuführenden Versuche war es erforderlich, zu untersuchen, ob sich der Temperaturkoeffizient mit der Wellenlänge ändert. Zu diesem Zwecke wird zur Zeit der Temperaturkoeffizient für die folgenden vier, regelmässig über das Spektrum vertheilten Wellenlängen bestimmt:

gelbe Na-Linie	589,3 $\mu\mu$
gelbgrüne Hg-Linie	546,1 „
dunkelgrüne Hg-Linie	491,6 „
blaue Hg-Linie	435,9 „ .

Die bisherigen Versuche zeigen, dass der absolute Werth des Temperaturkoeffizienten mit kleiner werdender Wellenlänge stark abnimmt.

Ferner ist von Pellat für die spezifische Drehung der französischen Normalzuckerlösung (von anderer Konzentration als die deutsche) ein Temperaturkoeffizient beobachtet worden, der noch nicht halb so gross ist wie der entsprechende, in der Reichsanstalt für die deutsche Normalzuckerlösung ermittelte. Es war daher auch wünschenswerth, die Untersuchungen zugleich für verschieden konzentrirte Zuckerlösungen durchzuführen, zumal

[1] Brodhun, Liebenthal.
[2] Schönrock.

auch die Zuckertechnik daran ein Interesse hat. Diese Versuche befinden sich zur Zeit noch im Gange.

4. Prüfung von Quarzplatten[1]).

Während des Jahres 1901 wurden 48 Quarzplatten zur Prüfung eingesandt, von denen sich 17 für saccharimetrische Zwecke als nicht geeignet erwiesen.

Eine genaue und einfache Berechnung des Achsenfehlers von Quarzplatten ist in der Abhandlung „Theoretische Bestimmung des Achsenfehlers von Krystallplatten“ (*diese Zeitschr.* **22.** *S. 1. 1902*) gegeben worden.

5. Drehungsbestimmungen dicker Quarzplatten[2]).

Auf Ersuchen von Hrn. Prof. Wachsmuth in Rostock wurden Versuche darüber angestellt, mit welcher Genauigkeit zur Zeit in der Reichsanstalt die Drehungswinkel von dicken Quarzplatten für die gelbgrüne Quecksilberlinie bestimmt werden können. Die Messungen an drei Quarzplatten von 7; 24 und 110 *mm* Dicke ergaben, dass in allen drei Fällen die Genauigkeit etwa $^1/_{100000}$ des Drehungswerthes beträgt. Der mittlere Fehler der einzelnen Einstellung betrug nämlich bei den drei Platten in gleicher Weise etwa 0,003 % des Drehungswinkels, indem mit zunehmender Quarzdicke sich das Gesichtsfeld aufhellt und dadurch die Empfindlichkeit geringer wird.

6. Dioptrische Prüfungen[3]).

Es wurden 11 Glassorten auf ihr Lichtbrechungsvermögen, 2 Linsen auf ihre Brennweite untersucht. Für ein Fernrohr wurden die Konstanten bestimmt.

V. Chemische Arbeiten.

1. Silbervoltameter[4]).

Die chemischen Arbeiten über das Silbervoltameter wurden, zumeist in der Richtung qualitativer Beobachtung, fortgesetzt. Es ergab sich:

a) Reines Silber wirkt auf Silbernitratlösung auch in der Wärme nicht ein; die Angabe von Proust, wonach bei der Einwirkung beider Stoffe unter Entwickelung von Stickstoffoxyd Silbernitrit entstehen soll, ist also nicht richtig. Demgemäss konnte auch im Silbervoltameter unter normalen Verhältnissen eine Reduktion zu Nitrit selbst nicht in Spuren beobachtet werden.

b) Bei der Anwendung reinen Silbers zur Anode bildet sich im Voltameter kein Superoxyd; auch im gelösten Zustande war es im neutralen Elektrolyt niemals nachweisbar.

c) Silbernitrit und -superoxyd würden sich in einer Lösung unter Bildung von Silbernitrat gegenseitig vernichten.

d) Der bei der Korrosion der Anode im Voltameter bleibende Rückstand besteht bei Anwendung von reinem (nach Stas gefälltem) Silber aus fast weissen Silberkrystallen. Er enthält um so mehr schwarze Theile, je weniger rein das Silber ist.

e) Die schwarzen Theile des Anodenrückstandes bestehen nicht aus Superoxyd, wie häufig angenommen wird; sie sind der Hauptsache nach Silber in einer Form, welche dem Platinmohr vergleichbar ist. Ein Sauerstoffgehalt ist nicht ausgeschlossen.

Für weitere Versuche sind Berthelot's Erfahrungen über niedrige Oxydationsstufen des Silbers zu berücksichtigen.

f) In konzentrirten Lösungen von Silbernitrat ist Silberoxyd fast unlöslich; bei Zutritt von Luft zum Voltameter erscheint daher das, was man als „neutrale“ und als „basische“ Silberlösung bezeichnet hat, praktisch gleichwerthig.

Die Anwendung einer neutralen Lösung verdient für voltametrische Zwecke den Vorzug vor einer angesäuerten Lösung, weil der reichliche, aus metallischem Silber bestehende Anodenschlamm im ersteren Fall einen wirksamen Filtrationsschutz gegen die Ausbreitung der nie fehlenden Verunreinigungen der Anode in die Flüssigkeit gewährt.

---

[1]) Brodhun, Schönrock.

[2]) Schönrock.

[3]) Brodhun.

[4]) Mylius.

g) Neutrale Silberlösung wird von Filtrirpapier zunächst anscheinend nicht verändert; die extrahirten dextrinartigen Stoffe bewirken aber, dass die filtrirten Lösungen bei längerem Stehen unter vorübergehender Rothfärbung dunkle Silberniederschläge absetzen; hierbei nimmt die Lösung saure Beschaffenheit an. Die Anwendung des Filtrirpapiers ist bei den voltametrischen Arbeiten zwar nicht zu entbehren, sie kann jedoch zu einer Fehlerquelle werden und ist daher mit Vorsicht zu handhaben.

Bei der Fortführung der Arbeit über das Silbervoltameter wird vorzugsweise die quantitative Seite zu berücksichtigen sein.

2. Tellursäure und ihre Salze[1]. Weitere Versuche über die Tellursäure und ihre Salze führten zur Auffindung einer bisher unbekannten Modifikation der Tellursäure, der „Allotellursäure", über deren Eigenschaften und Verbindungen eine kurze Mittheilung veröffentlicht wurde (Anh. Nr. 41).

Als Beitrag zur Kenntniss polymerer Salzmoleküle ist eine Fortsetzung der Versuche in Aussicht genommen, welche, wenn möglich, auch auf die Selen- und Schwefelsäure ausgedehnt werden soll.

3. Molybdänsäure[2]. Für die Schwefelsäurereihe würde im Anschluss an die Tellursäure eine gründliche Untersuchung der Molybdänsäure in ihren verschiedenen Zuständen ein besonderes Interesse bieten; einstweilen sind die Literaturangaben experimentell geprüft worden.

Die Molybdänsäure kann erhalten werden in den Zuständen

a) kolloidal, wasserhaltig, leicht löslich,

b) farblos krystallisirt als Anhydrid MoO_3, schwer löslich,

c) gelb krystallisirt als Monohydrat, $H_2MoO_4 + H_2O$, schwer löslich.

Die von Ullick beschriebene farblos krystallisirte typische „Molybdänsäure" H_2MoO_4 konnte nicht erhalten werden.

Die Molybdänsäure erscheint als Anhydrid am stabilsten; die übrigen Formen gehen bei höherer Temperatur darin über; bei Zimmertemperatur können die weissen und gelben Krystalle von b) und c) mit Wasser überschichtet werden, ohne sich anscheinend gegenseitig zu beeinflussen.

4. Uransäure[3]. Die ebenfalls zur Schwefelsäuregruppe gehörende Uransäure stellt ein schwer lösliches gelbes Pulver dar.

Eine etwa daneben bestehende kolloidale Form hätte man bei der Einwirkung von Silberoxyd und Wasser auf Uranylchlorid erwarten dürfen. Die durch eine Veröffentlichung (Anh. Nr. 43) abgeschlossene Untersuchung hat indess die Existenz einer solchen „löslichen Uransäure" nicht ergeben, wohl aber einige noch nicht bekannte Zwischenprodukte der Hydrolyse, welche als salzsaure Salze des Urantrioxyds zu betrachten sind.

5. Jodsäure und ihre Salze[4]. Die Versuche über Kobalt- und Nickeljodat wurden durch eine Publikation zum Abschluss gebracht (Anh. Nr. 42).

Bei der Jodsäure selbst wurde ohne Erfolg nach Hydraten gesucht. Konzentrirte Lösungen dieser Substanz erreichen bei starker Abkühlung ohne Abscheidung von Krystallen einen auffallend hohen Grad der Viskosität; ähnlich verhalten sich Lösungen von Chromsäure, welche bei schneller Abkühlung allmählich glasartige Konsistenz annehmen.

Die bei niedriger Temperatur an Stelle der Hydrate beobachtete „kolloidale" Form mag durch Assoziation der Moleküle begünstigt werden; Jodsäure und Chromsäure werden gewöhnlich als dimolekular betrachtet.

6. Salze der Chlorsäure[4]. Eine Untersuchung über die Löslichkeit der Metallchlorate ergab ähnliche Verhältnisse wie bei den früher untersuchten Nitraten. Bei Magnesium-, Zink-, Nickel-, Kobalt-Chlorat sind Hydrate mit 6 Mol. Wasser isolirbar; Kupferchlorat ist als Tetrahydrat, Kadmiumchlorat als Dihydrat stabil.

[1]) Mylius.
[2]) Meusser.
[3]) Mylius.
[4]) Meusser.

Bei höherer Temperatur entstehen bei den meisten dieser Salze aus den Hexahydraten Tetrahydrate und später Dihydrate, welche stark viskose Lösungen liefern und wenig beständig sind. Wie bei den Jodaten konnten (im Gegensatz zu den Nitraten) Trihydrate nicht isolirt werden; der Abfall des Krystallwassers erfolgt vielmehr sprungweise nur nach geraden Molekülzahlen.

Kobaltchlorat führt gelegentlich zu Explosionen, Eisen- und Manganchlorat sind nicht herstellbar.

7. Baryumoxalat[1]).

Die Auffindung neuer Hydratformen des Baryumoxalates machte eine ausführliche Arbeit über die Löslichkeit dieses Salzes nothwendig, über welche eine gedruckte Mittheilung vorliegt (Anh. Nr. 44).

Die Entstehung der neutralen Salzform $BaC_2O_4 + 2H_2O$ aus dem sauren Oxalat durch Hydrolyse gab ausserdem Gelegenheit zur Untersuchung der bei dieser Zersetzung für ein grösseres Temperaturgebiet in Betracht kommenden Gleichgewichtszustände.

8. Saure Salze einbasischer Säuren[2]).

Manche einbasische Säuren liefern mit Basen nicht nur „normale“, sondern auffallender Weise auch saure Salze, deren Natur noch näherer Aufklärung bedarf. Eine Untersuchung über die Existenzbedingungen derselben wurde begonnen, für welche Salpetersäure, Fluorwasserstoffsäure, Jodsäure in Aussicht genommen sind.

Von organischen Säuren ist zunächst die Ameisensäure ins Auge gefasst worden, welche für die ganze Reihe der Fettsäuren als typisch gelten kann. Hier wurde die Existenz der sauren Alkalisalze, welche mehrfach bezweifelt war, durch analytische Versuche aufs Neue festgestellt.

9. Basische Salze einsäuriger Basen[3]).

Das Gegenstück zu den sauren Salzen der einbasischen Säuren bilden die basischen Salze der einsäurigen Basen. Bei einigen neu aufgefundenen Beispielen derselben, nämlich bei dem basischen Natriumchromat $Na_4CrO_5 + 13\,H_2O$ und dem basischen Lithiumtellurat Li_4TeO_5 + aqu. ist ein näheres Studium der Gleichgewichtsbedingungen begonnen worden, wobei ein Anschluss an die van 't Hoff'schen Arbeiten über die Doppelsalze versucht werden soll.

10. Analytische Arbeiten.

Die präparative und analytische Thätigkeit des Chemischen Laboratoriums war im letzten Jahre ziemlich ausgedehnt.

Einerseits machten die physikalischen Arbeiten der Reichsanstalt vielfach die Herstellung reiner Salze, die Analyse von Spiegelmetallen, Eisensorten, Kupferlegirungen, technischen Gasen u. s. w. nothwendig, andererseits traten wieder die Glasuntersuchungen mehr in den Vordergrund, insofern wichtige Glassorten des Handels die wünschenswerthe Konstanz der Zusammensetzung vermissen liessen, wodurch eine erneute Mitwirkung der Reichsanstalt nahegelegt war. Dieselbe wurde im Sinne der Verbesserung des Glases auch mehrfach von Seiten der Hütten in Anregung gebracht.

VI. Arbeiten der Werkstatt.

Gegenstände für grössere Arbeiten bildeten

- 1 Kompensationsapparat,
- 1 Einrichtung zur Heizung des Fizeau'schen Dilatometers mit Dämpfen verschiedener Flüssigkeiten,
- 1 Spalt- und Spiegelvorrichtung für spektral gereinigtes Natriumlicht,
- 3 Stative zum Strahlengang für spektral gereinigtes Natriumlicht,
- 1 Stativ zu einem drehbaren Spiegel für photometrische Messungen,
- 2 Gestelle mit Stellschrauben und Zuleitungen für den schwarzen Körper,
- 1 Platinglühapparat,
- 12 Platinthermometer,
- 12 Umschalter,
- 4 doppelpolige Umschalter für je 7 Stromkreise.

---

[1]) Groschuff.

[2]) Groschuff.

[3]) Mylius, Groschuff.

Mit Beglaubigungsstempel wurden versehen
- 55 Eisenblech-Streifen und Stäbe für magnetische Untersuchungen,
- 26 Stimmgabeln,
- 83 Bolzen,
- 4 Spindeln,
- 129 Hefner-Lampen,
- 227 Schilder für Normalelemente und Widerstände.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
(gez.) Kohlrausch.

Anhang.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Abtheilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

1. Thiesen, Ueber die Bohr'sche Anomalie. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 80. 1901.*
2. Thiesen, Ueber die angebliche Anomalie des Sauerstoffs bei geringem Drucke. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 280. 1901.*
3. Holborn und Grüneisen, Ueber die Ausdehnung von Porzellan und Glas in hoher Temperatur. *Ebenda* **6.** *S. 136. 1901.*
4. Holborn und Kurlbaum, Ueber ein optisches Pyrometer. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1901. S. 712.*
5. Holborn, Untersuchungen über Platinwiderstände und Petrolätherthermometer. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 242. 1901.*
6. Holborn und Day, *On the Melting Point of Gold. Amer. Journ. of Science* **11.** *S. 145. 1901.*
7. Holborn und Day, *On the Expansion of Certain Metals at High Temperatures. Ebenda* **11.** *S. 374. 1901.*
8. Kohlrausch und Grüneisen, Ueber die durch sehr kleine elastische Verschiebungen entwickelten Kräfte. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1901. S. 1086.*
9. Jaeger und Lindeck, Untersuchungen über Normalelemente, insbesondere über das Weston'sche Kadmiumelement. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 33, 65. 1901; Ann. d. Physik* **5.** *S. 1. 1901;* Auszug daraus in *Zeitschr. f. phys. Chem.* **37.** *S. 641. 1901.*
10. Jaeger, Beitrag zur Thermochemie der Normalelemente mit verdünnter Lösung. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 48. 1901.*
11. Kohlrausch, Ueber den Temperatureinfluss auf das elektrische Leitvermögen von Lösungen, insbesondere auf die Beweglichkeit der einzelnen Ionen im Wasser. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1901. S. 1026.*
12. Kohlrausch und Dolezalek, Die Löslichkeit des Bromsilbers und Jodsilbers im Wasser. *Ebenda 1901. S. 1018.*
13. Lummer und Pringsheim, Temperaturbestimmung hocherhitzter Körper (Glühlampe u. s. w.) auf bolometrischem und photometrischem Wege. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 36. 1901.*
14. Lummer, Eine neue Interferenzmethode zur Auflösung feinster Spektrallinien. *Ebenda* **3.** *S. 85. 1901.*
15. Lummer, Ein neues Interferenzspektroskop. *Arch. Néerland.* **6.** *S. 773. 1901.*
16. Lummer und Gehrcke, Ueber den Bau der Quecksilberlinien; ein Beitrag zur Auflösung feinster Spektrallinien. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1902. S. 11.*
17. Lummer, Ein neues Interferenz-Photo- und -Pyrometer. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 131. 1901.*

18. Lummer, Ueber die Gültigkeit des Draper'schen Gesetzes. *Arch. d. Math. u. Physik* **1.** *S. 77. 1901.*
19. Lummer, Herstellung und Montirung der Quecksilberlampe. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 201. 1901.*
20. Lummer und Kurlbaum, Der elektrisch geglühte „schwarze" Körper. *Ann. d. Physik* **5.** *S. 829. 1901.*
21. Rubens und Kurlbaum, Anwendung der Methode der Reststrahlen zur Prüfung des Strahlungsgesetzes. *Ann. d. Physik* **4.** *S. 649. 1901.*

Private Veröffentlichungen.

22. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. Leipzig, B. G. Teubner 1901.
23. Thiesen, Ueber den Reibungswiderstand des Lichtäthers. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 177. 1901.*
24. Jaeger, Die Normalelemente und ihre Anwendung in der elektrischen Messtechnik. Halle a. S., W. Knapp 1902.
25. Lummer und Pringsheim, Temperaturbestimmung mit Hülfe der Strahlungsgesetze. *Physik. Zeitschr.* **3.** *S. 97. 1901.*
26. Lummer, Die Planparallelplatten als Interferenzspektroskop. *Ebenda* **3.** *S. 172. 1901.*
27. Lummer, Die Gesetze der schwarzen Strahlung und ihre praktische Verwendung. *Arch. f. Math. u. Physik* **2.** *S. 157. 1901.*
28. Lummer und Pringsheim, Kritisches zur schwarzen Strahlung. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 192. 1901.*
29. Gehrcke, Ueber den Geschwindigkeitsverlust, welchen die Kathodenstrahlen bei der Reflexion erleiden. *Inaugural-Dissertation, Berlin 1901.*
30. von Steinwehr, Studien über die Thermochemie sehr verdünnter Lösungen (Auszug aus der Inaugural-Dissertation von 1900). *Zeitschr. f. phys. Chem.* **38.** *S. 185. 1901.*
31. von Steinwehr, Ueber die Gültigkeit des Massenwirkungsgesetzes bei starken Elektrolyten. *Zeitschr. f. Elektrochemie* **7.** *S. 685. 1901.*

Abtheilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

32. Bestimmungen über die elektrischen Maasseinheiten im Deutschen Reiche. Als Manuskript gedruckt 1901.
33. Bestimmungen betreffend die Prüfung von Lehren für die Füsse und Fassungen von Edison-Glühlampen nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 647. 1901.*
34. Jaeger und Lindeck, vgl. Nr. 9.
35. Gumlich und Schmidt, Magnetische Untersuchungen an neueren Eisensorten. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 691. 1901.*
36. Wiebe und Hebe, Ueber das Verhalten der Aneroide bei tiefen Temperaturen. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 331. 1901.*
37. Rothe, Ueber einen Thermostaten für tiefe Temperaturen und seine Anwendung bei der Vergleichung von Thermoelementen. *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 14, 33. 1902.*
38. Hagen und Rubens, Das Reflexionsvermögen von Metallen für ultraviolette Strahlen. *Verhandl. d. Deutsch. physikal. Gesellsch.* **3.** *S. 165. 1901.*
39. Hagen und Rubens, Das Reflexionsvermögen einiger Metalle für ultraviolette und ultrarothe Strahlen. *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 42. 1902.*
40. Schönrock, Theoretische Bestimmung des Achsenfehlers von Krystallplatten. *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 1. 1902.*
41. Mylius, Tellursäure und Allotellursäure. Studien über die Löslichkeit der Salze VII. *Ber. d. Deutsch. chem. Ges.* **34.** *S. 2208. 1901.*

42. Meusser, Ueber Kobalt- und Nickel-Jodat. Studien über die Löslichkeit der Salze VIII. *Ebenda* **34.** *S. 2432. 1901.*

43. Mylius und Dietz, Uranylchlorid und Wasser. *Ebenda* **34.** *S. 2774. 1901.*

44. Groschuff, Ueber Baryumoxalate. Studien über die Löslichkeit der Salze IX. *Ebenda* **34.** *S. 3313. 1901.*

Private Veröffentlichungen.

45. Leman, Vorrichtung zum Schreiben kleiner Buchstaben und Ziffern. *Sitzungsber. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefl. 1901. S. 149.*

46. Leman, Ueber den Hensoldt'schen Entfernungsmesser. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 368. 1901.*

47. Blaschke, Die Präzisionsmechanik der fremden Länder und der Deutschen Kollektivausstellung auf der Weltausstellung Paris 1900. *Deutsche Mech.-Ztg. 1901. S. 251.*

48. Feussner, Bericht über einige Instrumente auf der Pariser Weltausstellung. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 207. 1901.*

49. Feussner, Wirbelstrombremsen. *Ebenda* **22.** *S. 608. 1901.*

50. Reichardt, Ueber die elektrischen Eigenschaften der Legirungen von Kupfer und Kobalt. *Ann. d. Physik* **6.** *S. 832. 1901.*

51. Wiebe, Bericht über die Thermometer und Barometer auf der Pariser Weltausstellung. *Deutsche Mech.-Ztg. 1901. S. 61, 73. 81.*

52. Wiebe, Die Thermometer-Industrie auf der Pariser Weltausstellung 1900. *Zeitschr. f. d. Glasinstr.-Ind.* **10.** *S. 65. 1901.*

53. Wiebe, Ueber die Korrektion für die Skalenausdehnung bei Einschlussthermometern. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 350. 1901; Arch. Néerland.* **6.** *S. 323. 1901.*

54. Schönrock, Zur Frage des Einflusses der Temperatur auf die spezifische Drehung des Zuckers. *Zeitschr. d. Ver. d. Deutsch. Zuckerind. (Techn. Theil)* **51.** *S. 106. 1901.*

Referate.

Schnellmesser, ein Schiebetachymeter für lothrechte Lattenstellung.

Von E. Puller. *Zeitschr. f. Vermess.* **30.** *S. 531. 1901; Centralbl. d. Bauverwaltg.* **21.** *S. 510. 1901;* kurze Beschreibung auch in *Der Mechaniker* **9.** *S. 265. 1901.*

Der Verf. erklärt *das* Tachymeterinstrument als das zweckmässigste, „welches den Endzweck der Geländeaufnahmen, die Herstellung der Lage- und Höhenpläne (meist im Maassstab 1:2500 bis 1:1000) mit dem geringsten Zeit- und Kostenaufwand ermöglicht“. Wenn *nur* die Feldarbeit in Betracht käme, so wäre nach dem Verf. das gewöhnliche „Kreistachymeter“ das zweckmässigste Instrument; da aber die Feldarbeiten nur als Mittel zum Zweck ausgeführt werden und die Anwendung des genannten Instruments mannigfache häusliche Arbeit verlangt, so ist es nicht ohne Weiteres als das beste zu bezeichnen.

Dass man der *Berechnung* der mit dem „Kreistachymeter“ aufgenommenen Punkte entgehen möchte, so einfach auch diese Rechnung sich für die meisten Zwecke durchführen lässt, beweist die Einführung zahlreicher neuerer Instrumente, u. A. des Wagner-Fennel'schen Schiebetachymeters, das eine grosse Verbreitung erlangt hat, obgleich die schiefe Lattenstellung nichts weniger als bequem ist; dass man auch gerne des *nachträglichen* Auftragens der gemessenen Punkte enthoben sein möchte, zeigt die vielfache Rückkehr zur Messtisch-Tachymetrie statt der Theodolit-Tachymetrie, z. B. mit Hülfe des soeben angeführten Instruments in der Form des Tachygraphometers. Nach dem Urtheil vieler Topographen ist diese Ausarbeitung der tachymetrischen Aufnahmen auf dem Feld deshalb erwünscht, weil man im Anblick des aufgenommenen Geländes selbst diese Ausarbeitung sicherer und richtiger macht als bei vollständiger Trennung der Hausarbeit von der Feldarbeit; ganz lässt sich freilich weder das eine noch das andre Verfahren in jedem Fall durchführen.

Das Tachymeterprogramm des Verf. war deshalb: ein Tachymeter mit festen Fäden im Fernrohr, das bei lothrechter Stellung der Latte gute und einfache Bestimmung der Horizontaldistanzen und Meereshöhen der aufgenommenen Punkte ermöglicht, bei dem ferner das Auftragen der Punkte in einem bestimmten Maassstab *auf dem Feld* geschehen kann, ohne dass man die schwerfälligen bisherigen Messtischapparate nothwendig hätte, und an dem endlich, im Fall schlechten Wetters, das die Messtischarbeit ausschliesst, auch die *Ablesungen* für die nach der gewöhnlichen Theodolit-Tachymetrie aufzunehmenden Punkte gemacht werden können, indem zur abgelesenen Horizontaldistanz und Höhe noch der Horizontalwinkel im Feldbuch zu notiren ist.

Bezeichnet man mit dem Verf. den festen, durch die zwei Fäden gegebenen diastimometrischen Winkel mit β, den Höhenwinkel der *untern* Visur (Zielung über den untern Faden) mit α, die Ablesungen am untern und obern Faden mit u und o, den Lattenabschnitt $o-u$ mit l, den Höhenunterschied zwischen Kippachse und Punkt der untern Lattenablesung u mit h, die Normalnull-Höhe des Standpunkts mit H_s, die Höhe der Kippachse über H_s mit i, die Normalnull-Höhe des Lattenstandpunkts mit H, endlich die Horizontaldistanz zwischen Instrumenten- und Lattenstandpunkt mit D, so ist, wenn noch c und $k = 1/\sin\beta$ Additions- und Hauptkonstante des entfernungsmessenden Fernrohrs bedeuten,

$$D = [kl\cos(\alpha+\beta)+c]\cos\alpha \quad \dots\dots\dots\dots 1)$$
$$h = [kl\cos(\alpha+\beta)+c]\sin\alpha \quad \dots\dots\dots\dots 2)$$
$$H = (H_s+i-u)+h \quad \dots\dots\dots\dots 3)$$

Diese drei Formeln legt der Verf. seinem Instrument, d. h. der Projektionsvorrichtung (Schiebevorrichtung) zu Grund. Die wesentlichen Einrichtungen sind schematisch in Fig. 1 angedeutet. Es sei MF die Zielrichtung, die dem Unterfaden u entspricht (Höhenwinkel α), MA ein mit dem Fernrohr fest verbundener Arm, in A gelenkartig mit der Schiene AB zusammengehängt; AB ist gegen die Horizontale um den Winkel β abwärts geneigt, schliesst also mit MF nicht den Winkel α, sondern $(\alpha+\beta)$ ein. Ferner ist BF ein ebenfalls senkrecht auf MF stehender, also parallel zu MA liegender Arm, KGN der Projektionswinkel (Schiebedreieck oder Projektor), G ein um O drehbarer Anschlagnonius, derart angelegt, dass OF gleich der Additionskonstanten c ist; es ist demnach, wenn $AB = kl$ gemacht wird,

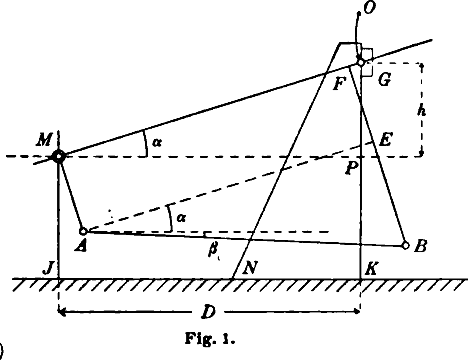


Fig. 1.

$$MF = kl\cos(\alpha+\beta)$$

und damit $$MO = kl\cos(\alpha+\beta)+c$$

folglich $$MP = [kl\cos(\alpha+\beta)+c]\cos\alpha = D$$

und $$OP = [kl\cos(\alpha+\beta)+c]\sin\alpha = h,$$

d. h. man hat, vgl. die Formeln 1) und 2), in den beiden Strecken MP oder JK und OP die Werthe von D und h. Wie man an der vertikalen Kathete des Projektors KO statt h sogleich die H nach 3) ablesbar machen kann, ist vom Wagner-Fennel'schen Instrument her bekannt.

Die mechanische Ausführung des Instruments, ohne Fernrohr, ohne Dreifuss und ohne Stativ des Ganzen zeigt Fig. 2[1]). Die unten in dieser Figur sichtbar werdende Horizontalscheibe ist die (wie bei Hager u. A. *runde) Messtischplatte*; auf einem darauf aufgezogenen Blatt *Pauspapier* wird für gewöhnlich die Aufnahme sogleich auf dem Feld kartirt (s. die Nadelspitze für D). Die Platte besteht aus Magnalium und hat 42,5 *cm* Durchmesser. Um auch für den Fall der Verwendung des Instruments als Tachymeter-*Theodolit* ausgerüstet zu sein, hat diese Platte eine Randtheilung mit Strichen von $^1/_3{}^0$ zu $^1/_3{}^0$, sodass man ohne Nonius leicht auf 5′ richtig ablesen oder einstellen kann.

[1]) Von der Redaktion der *Zeitschr. f. Vermess.* freundlichst zur Verfügung gestellt.

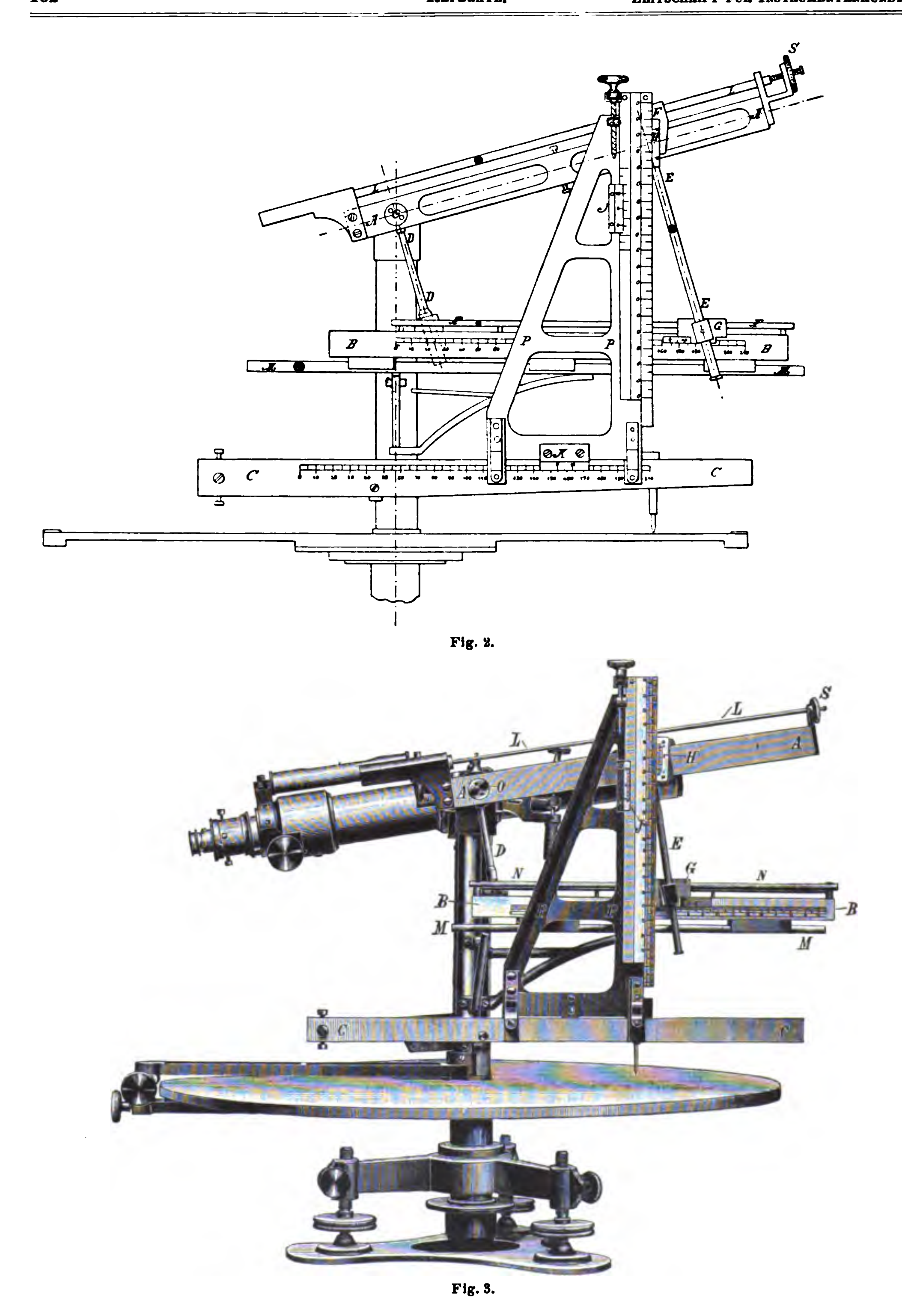


Fig. 2.

Fig. 3.

Die Einrichtungen im Einzelnen bedürfen nach dem erläuterten Prinzip nicht mehr der besondern Erklärung; eine *Ansicht* des Instruments im Ganzen giebt noch die dem *Centralbl. d. Bauverwaltg.* entnommene Fig. 3.

Beim Gebrauch des Instruments wird man den Betrag $(H_s + i - u)$ in 3) für jeden Standpunkt dadurch konstant halten, dass man auf der Latte für u stets denselben Punkt,

z. B. $u = 2{,}00$ nimmt. Im Uebrigen ist der Gebrauch in allen wesentlichen Stücken, sowohl beim Auftragen der Punkte auf dem Feld als auch für den Fall des Ablesens der Punkte vom Wagner-Fennel'schen Instrument und den andern Tachymeter-Apparaten her bekannt.

Bei Versuchsmessungen hat der Verf. gefunden, dass in mittlerem Gelände bei Anwendung zweier Latten in der Stunde 50 bis 60 Punkte vollständig fertig aufgetragen werden können; beim *Ablesen* der Punkte wird die *grosse* („weite") Theilung auf dem Rand einer Scheibe von mehr als 40 *cm* Durchmesser zum Ablesen der Horizontalwinkel bequem sein.

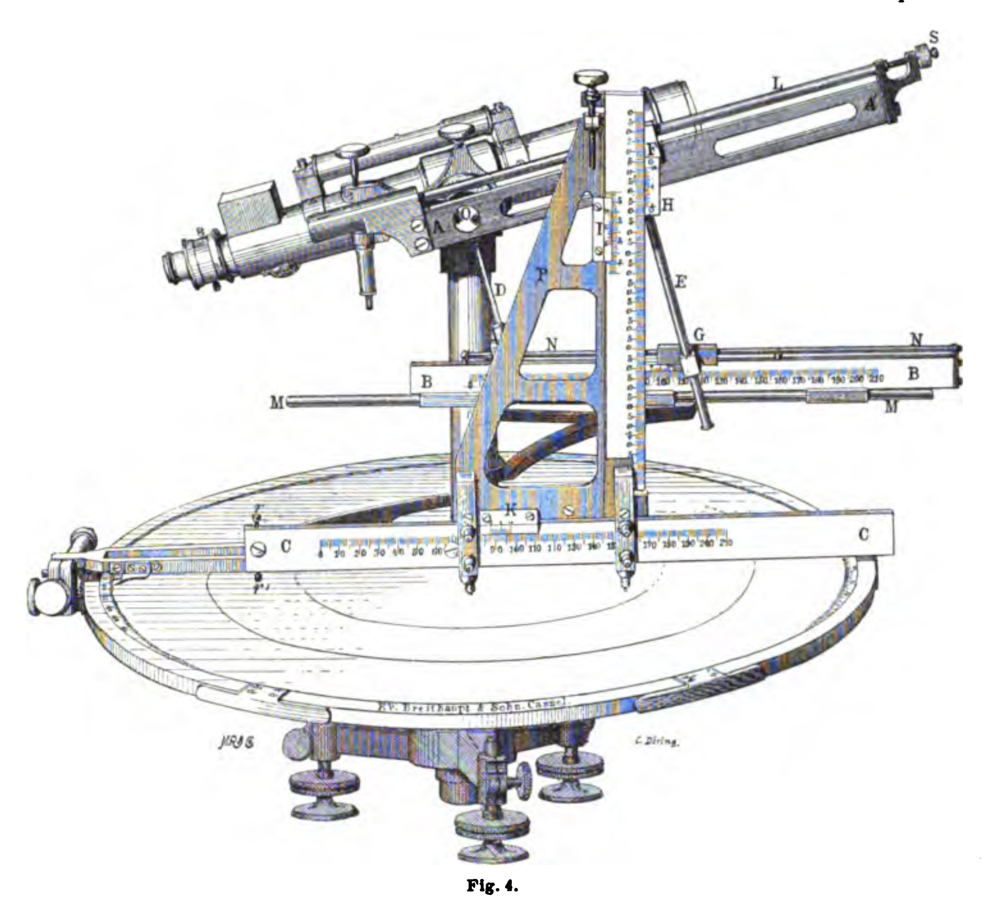


Fig. 4.

Das Instrument stellt zweifellos eine sehr willkommene und wichtige Bereicherung des tachymetrischen Instrumentariums vor; es wird von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel ausgeführt (D.R.P. Nr. 125355; Preis 800 M.).

In der zuerst angeführten ausführlicheren Abhandlung bespricht der Verf. eingehend auch die Berichtigung des Instruments; ferner zum Schluss noch einen neuen *Tachymeterschieber* für die gewöhnlichen Tachymeterkonstruktionen mit Ablesung des Höhenwinkels.

Zu erwähnen ist noch, dass vor kurzer Zeit die Firma F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel eine besondere Broschüre (8°. 15 S.) über den Puller-Breithaupt'schen Schnellmesser herausgegeben hat; aus dieser Broschüre ist die die neueste Ausführungsform des Instruments darstellende Fig. 4 von der genannten Firma freundlichst zur Verfügung gestellt worden. Wegen eingehenderer Beschreibung des Instruments, ebenso für Prüfung, Berichtigung, Gebrauchsanweisung und für die recht günstig lautenden Ergebnisse praktischer Messungen sei auf diese Broschüre verwiesen. *Hammer.*

Ueber grobe freihändige Winkelaufnahme mit der Schmiege, brachimetrische Winkelmessung und Faustwinkel.

Von P. Kahle. *Zeitschr. f. Vermess.* **30.** *S. 443. 1901.*

Es handelt sich hier um rohe Horizontalwinkel- oder Positionswinkelmessung; der Verf. stellt seine Schmiege aus den beiden ersten Gliedern eines zusammenlegbaren Metermaassstabs her (bis zum Drehungspunkt 167 *mm* lang). Um einen Winkel „aufzunehmen", stellt man freihändig die Innenkante der zwei Schenkel in die Richtungen nach den zwei Punkten; legt man dann die Schmiege auf das Papier, so ist der Winkel sofort aufzutragen. Je kleiner der Winkel ist, desto schärfer wird man ihn „in die Schmiege nehmen" können, während umgekehrt das Auftragen bei kleinen Winkeln, wegen der geringern Zentrirungsgenauigkeit des Winkelscheitels, weniger genau sein wird als bei grössern. Dass zwei gleichzeitige Beobachter mehr leisten können als einer, ist klar; der Verfasser fand aus Versuchen mit Studirenden, dass (beim Herablothen oder Herauflothen stark geneigter Richtungen) der m. F. einer Horizontalwinkelaufnahme bei einem Beobachter $\pm 1^1/_3{}^0$, bei zwei Beobachtern $\pm 0{,}3^0$ war. Diese Genauigkeit lässt sich durch Uebung erhöhen, reicht aber für manche Zwecke auch schon aus.

Die „brachimetrische" Winkelmessung bedarf selbst des Hülfsmittels jener einfachen Schmiege nicht; Anwendungen von solcher brachimetrischer Messung hat z. B. auch Jordan mehrfach angegeben. *Hammer.*

Callendar's tragbare Schaltung für Platinthermometer.

Nach Engineering **72.** *S. 644. 1901.*

Der von der *Cambridge Scientific Instrument Co.* angefertigte Apparat (Preis rund 320 M.) enthält gleichzeitig eine Brückenschaltung und ein d'Arsonval-Galvanometer und gestattet, direkte Temperaturablesungen zu machen.

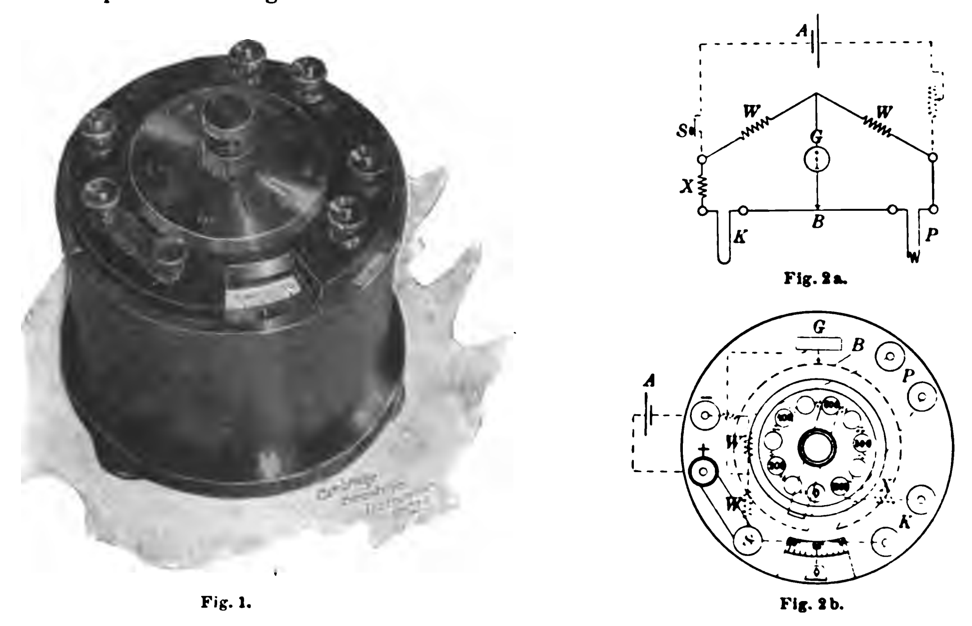


Fig. 1. Fig. 2a. Fig. 2b.

Fig. 1[1]) giebt eine äussere Ansicht des Apparates, Fig. 2a u. 2b die Schaltungsskizze. Der Apparat besteht aus einer Wheatstone'schen Brücke mit Galvanometer. Die beiden gleichen Zweige der Brücke sind mit *W W*, das Galvanometer mit *G* bezeichnet. Bei *P* werden die Leitungen zum Platinwiderstand angeschraubt, bei *K* diejenigen zum Kompensations-

[1]) Von der genannten Firma freundlichst zur Verfügung gestellt.

draht (einem im Schutzrohr des Platinwiderstands angebrachten Platindraht von gleicher Länge und gleichem Durchmesser wie der Zuleitungsdraht zum eigentlichen Messwiderstand). Der Kompensationsdraht dient dazu, den Einfluss des mit der Temperatur veränderlichen Widerstandes der Zuleitungen zu eliminiren. In der Mitte des Apparates befindet sich ein Kurbelwiderstand, dessen Abtheilungen so abgeglichen sind, dass einer jeden ein Temperaturintervall von 100° entspricht; ausserdem ist ein kreisförmiger Brückendraht *B* vorhanden, dessen vom mittleren Hartgummiknopf zu bethätigender Schleifkontakt mit einer in ganze Temperaturgrade getheilten Kreisscheibe starr verbunden ist; seine Einstellung ist an dem vorderen Ausschnitt der Deckplatte ersichtlich. Dort befindet sich auch die Marke, welche der Ruhelage des Galvanometerzeigers entspricht. Auf der Deckplatte des Instruments sind ferner zwei Anschlussschrauben für die Batterie *A*, sowie ein Tasterschlüssel *S* befestigt. Bei *X* befindet sich noch ein justirbarer Widerstand, dessen Betrag sich nach dem zu benutzenden Widerstandsthermometer richtet.

Der Apparat wird in der Weise benutzt, dass, nachdem die nöthigen Verbindungen hergestellt sind, Kurbelwiderstand und Schleifkontakt so lange verändert werden, bis das Galvanometer beim Niederdrücken des Tasterschlüssels keinen Ausschlag mehr zeigt; der Einstellung von Fig. 2b würde z. B. die Temperatur 695° entsprechen.

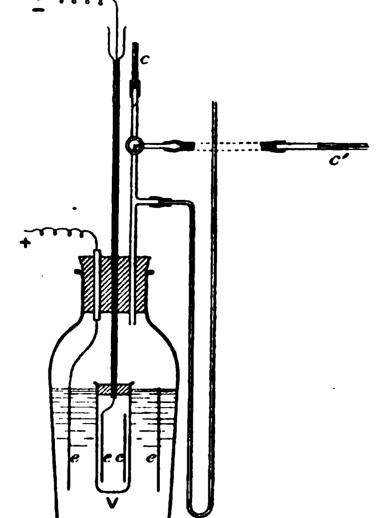
Der Apparat wird für Temperaturen bis 1400° C. angefertigt; doch ist die Verwendung der Platinwiderstände in so hohen Temperaturen, wie bekannt, nicht mehr ganz einwandsfrei.

Rt.

Neue Methode zur Messung und Aufzeichnung hoher Temperaturen.

Von A. Job. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 39. 1902.*

Das hier beschriebene Pyrometer beruht auf dem schon von Barus, Callendar u. A. benutzten Prinzip, welchem die Aenderung der Zähigkeit eines Gases mit der Temperatur zu Grunde liegt. Der Apparat, in der nebenstehenden Figur skizzirt, ist in der Hauptsache ein Wasservoltameter mit den Elektroden *e e*, welches die Gase getrennt zu entwickeln gestattet. Da die Verwendung des Wasserstoffs wegen der bekannten Neigung dieses Gases zum Diffundiren zu Fehlern Anlass giebt, wird dem Sauerstoff der Vorzug gegeben; der erstere wird im porösen Gefäss *V* entwickelt und entweicht nach aussen, der letztere hat nur einen Ausweg durch eine Röhre mit einem Dreiweghahn; je nach der Stellung des Hahnes kann das Gas durch die Kapillare *c* oder *c'* austreten, von denen die eine, auf gewöhnlicher Temperatur zu haltende, aus Glas, die andere, in die zu messende Temperatur zu bringende, aus Porzellan oder einem anderen widerstandsfähigen Material herzustellen ist. Ein Wassermanometer zeigt die Drucke p_c und $p_{c'}$ an, die herrschen, je nachdem das Gas durch *c* oder *c'* ausströmt.



Der so konstruirte Apparat ist bis gegen 1200° wiederholt mit einem Le Chatelier'schen Thermoelement verglichen worden; dabei zeigte sich die Unveränderlichkeit seiner Angaben und ferner das Resultat, dass das Verhältniss $p_{c'} : p_c$ eine lineare Funktion der Temperatur ist. Danach wäre die Aichung des Pyrometers sehr einfach.

Die selbstthätige Aufzeichnung kann durch ein Registrirmanometer erfolgen.

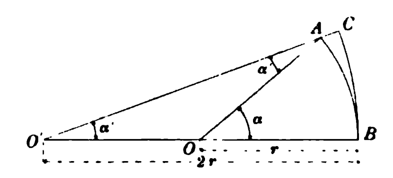
Im Einzelnen werden keine Beobachtungsresultate mitgetheilt; daher ist es auch nicht möglich, ein Urtheil über die Empfindlichkeit des Instruments, über Nachwirkungserscheinungen, über den Einfluss der Umgebungstemperatur und sonstige Fehlerquellen des Apparates zu fällen.

Rt.

Apparat zur Aufnahme von Wechselstromkurven.

Von E. Hospitalier. *L'Électricien* **22.** *S. 194. 1901.*

Der Apparat von Hospitalier ist dazu bestimmt, für technische Zwecke möglichst rasch und vollständig automatisch eine Wechselstromkurve aufzunehmen. Dazu wird die Joubert'sche Methode des Augenblickkontaktes benutzt; der Kontaktmacher besitzt eine Form, wie sie schon häufiger angewandt worden ist. Mittels dreier Bürsten wird zuerst ein Kondensator geladen und unmittelbar darauf durch ein Galvanometer entladen. Der Kontaktmacher wird durch einen Synchronmotor unter Zwischenschaltung eines Rädervorgeleges angetrieben. Das Rädervorgelege ist so beschaffen, dass die Phase des Kontaktes kontinuirlich geändert wird. Als Galvanometer dient ein Zeigerinstrument des d'Arsonval-Typus, welches jedenfalls in seiner Konstruktion Besonderheiten besitzen muss. Denn die allgemeiner verbreiteten sogenannten „Präzisionsinstrumente" sind viel zu stark gedämpft, als dass sie auf derartige Stromstösse ansprechen können. Die Ausschläge des Galvanometers werden direkt auf eine Trommel aufgezeichnet. Soll der zeichnende Stift die Galvanometernadel nicht hemmen, so darf die Nadel nur kurz sein. Um andererseits die Kurven durch die kreisförmigen Ordinaten nicht zu stark zu verzerren, wendet Hospitalier ein auch sonst gelegentlich brauchbares Mittel an. Die 18 *cm* lange Nadel OA (vgl. die Figur) trägt in A eine Gabel, welche den 36 *cm* langen Hebelarm $O'C$ führt. Die Drehpunkte OO' haben einen Abstand von 18 *cm* von einander. Wie leicht ersichtlich, ist dann Bogen $AB = BC$.



Ein Stift in C beschreibt aber schon praktisch geradlinige Ordinaten. Hospitalier nimmt mit seinem Apparat Kurven von Spannung, Stromstärke und Leistung auf; im letzteren Fall ist der Kontaktmacher nur in den Spannungskreis eingeschaltet.

Der Synchronmotor wird zunächst mittels einer Kurbel in Bewegung gesetzt. Um zu entscheiden, wann Synchronismus eingetreten ist, wird eine kreisförmige Scheibe auf die Achse des Motors gesetzt; die Scheibe ist mit einander gleichen schwarzen und weissen Sektoren beklebt, und zwar ist die Zahl der schwarzen Sektoren gleich der Zahl der Magnete des Synchronmotors. Man beleuchtet nun die Scheibe durch eine Glühlampe, die von der zu untersuchenden Wechselstromquelle gespeist wird. Sobald Synchronismus eintritt, erblickt man in Folge der im Takte der Perioden erfolgenden Schwankungen der Lichtintensitäten der Lampe helle und dunkle Sektoren auf der Scheibe, die stillstehen. Sobald der Synchronismus auch nur wenig gestört ist, beginnen die Streifen zu wandern.

E. O.

Frequenzbestimmung langsamer elektrischer Schwingungen.

Von K. E. F. Schmidt. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 225. 1902.*

Es handelt sich um eine Methode, um dauernde konstante elektrische Schwingungen von der Grössenordnung 2800 in der Sekunde zu messen. Die elektrischen Schwingungen werden durch ein Telephon geschickt, dessen Membran senkrecht, etwa 1 bis 2 *cm* vor dem offenen Ende einer horizontalen, 2,7 *cm* weiten Glasröhre aufgestellt ist. Bewegt man in der Längsrichtung des Rohres einen das Lumen gut ausfüllenden Metallstempel hin und her, so treten Maxima und Minima der Tonstärke auf. Besonders die Lage der Minima lässt sich bei Schwingungen von der oben angegebenen Grösse mit grosser Schärfe (bis auf Bruchtheile eines Millimeter) einstellen. Dann ist der Abstand zweier auf einander folgender Minima gleich der halben Wellenlänge des Tones in Luft. Als Geschwindigkeit des Schalles in dem betreffenden Rohre wurde $32845\sqrt{1 + 0{,}00367\, t^{0}}$ *cm* benutzt. Daraus lässt sich dann in einfacher Weise die Schwingungszahl berechnen. Die Wellenlänge des betreffenden Tones kann ebenso gut mittels Kundt'scher Staubfiguren gemessen werden.

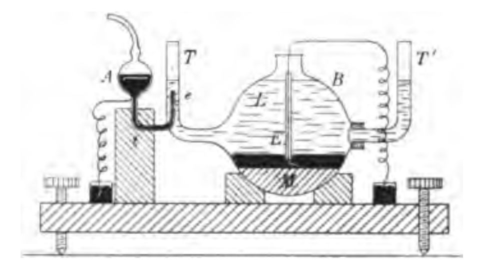
Um langsame elektrische Schwingungen zu messen, wie sie den von Zentralen gelieferten Strömen zukommen, wird eine mit dem Wechselstrom gespeiste Glühlampe auf einer bewegten photographischen Platte photographirt. Entsprechend den Wechseln ent-

stehen helle und dunkle Streifen auf der Platte. Photographirt man gleichzeitig den Unterbrechungsfunken einer elektromagnetischen Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl, so findet man aus beiden Bildern in leicht ersichtlicher Weise die Wechselzahl. Steht ein kleiner Motor zur Verfügung, so dürfte es einfacher sein, eine mit schwarzen und weissen Sektoren versehene Scheibe auf die Motorachse zu setzen und mit der Glühlampe zu belichten. Man regulirt die Tourenzahl des Motors so, dass die Sektoren still zu stehen scheinen, und zählt die Umdrehungen mit einem Tourenzähler. *E. O.*

Kapillarelektrometer.

Von P. Boley. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 463. 1902.*

Das hier beschriebene Elektrometer soll an Stelle des bekannten Lippmann'schen Apparates besonders dazu dienen, die elektromotorische Kraft von Amalgamen gegen Elektrolyte zu messen; Verf. bezeichnet es als „Elektrometer mit freiem Tropfen". Das zu untersuchende Quecksilber bezw. Amalgam befindet sich in dem kleinen Glasgefäss *A*, das sich unten in eine Röhre *t* fortsetzt; diese ist zweimal rechtwinklig umgebogen und ihr aufsteigender Schenkel ist von dem weiteren Seitenrohr *T* des mit dem Elektrolyten gefüllten Gefässes *B* umgeben; das zweite, in einem Pfropfen drehbare Seitenrohr *T'* dient zum Ablassen der Flüssigkeit. Am Boden von *B*, der mit einer Masse *M* ausgegossen ist, befindet sich die Quecksilberelektrode *E*, deren grosse Oberfläche einer relativ nur geringen Polarisation unterworfen ist. Von *A* und *E* aus gehen Platinzuleitungen zu zwei Quecksilbernäpfen. Der freie Tropfen bildet sich an der Stelle *e* des aufwärts gehenden, mit Amalgam gefüllten Schenkels; dieser besitzt an seinem Ende einen Durchmesser von etwa 0,5 bis 2 *mm* und ist abgeschliffen. Der Meniskus des Tropfens wird von einer kleinen



Lichtquelle beleuchtet, die sich in der Nähe etwas oberhalb befindet, und wird mit einem Mikroskop beobachtet. Verf. benutzte das Instrument zunächst, wie gewöhnlich, mit Quecksilber und mit auf $^1/_5$ verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt. Bei einer elektromotorischen Kraft von $0{,}3 \cdot 10^{-4}$ Volt konnte dann eine deutliche Depression des Quecksilbers beobachtet werden; beispielsweise betrug die scheinbare Depression bei 100-facher Vergrösserung und bei einem Tropfen von 1 *mm* Durchmesser für die angegebene Spannungsdifferenz $^1/_8$ *mm*. Bis zu einer Spannung von etwa ein hundertel Volt sind die Depressionen des Meniskus absolut proportional der elektromotorischen Kraft. Der Nullpunkt bleibt, wenn der Apparat vor äusseren Erschütterungen geschützt aufgestellt wird, vollkommen unveränderlich. Auch mit Silberamalgam hat Verf. ebenso gute Resultate wie mit Quecksilber erhalten; andere Amalgame hat er noch nicht untersucht. *W. J.*

Neu erschienene Bücher.

1. **M. Bandemer,** Feldmessen und Nivelliren, für Bau- und ähnliche Schulen und zum Selbstunterricht. gr. 8°. VIII, 68 S. m. 65 Fig. u. 1 lith. Taf. Wiesbaden, C. W. Kreidel 1901. 1,60 M.
2. **W. Weitbrecht,** Praktische Geometrie. Leitfaden für den Unterricht an technischen Lehranstalten. gr. 8°. VIII, 219 S. m. 128 Fig. Stuttgart, K. Wittwer 1901. Geb. in Leinw. 3,50 M.
3. **W. Miller,** Die Vermessungskunde. Taschenbuch für Schule und Praxis. 12°. IX, 164 S. m. 117 Fig. Hannover, Gebr. Jänecke 1901. Geb. in Leinw. 3,00 M.

Diese kleinen Leitfäden der elementaren geodätischen Messungen hier zu besprechen bedarf eigentlich einer Entschuldigung; immerhin mag dem einen oder andern Leser dieser

Zeitschrift ein kleines, zusammenfassendes Werkchen über diese Elemente erwünscht sein. Vom Standpunkt der Instrumentenkunde aus findet er seine Rechnung noch am ehesten im 3., weniger im 2., am wenigsten in dem ganz elementaren 1., das bei den Lagemessungen, der „Aufmessung“ der Linien und der Flächen z. B. von der Verwendung des Theodolits ganz absieht und auch bei Kreisbogenabsteckungen die Winkel indirekt aus Längenmessungen bestimmt.

In der zweiten Schrift ist ebenfalls der Theodolit und sein Gebrauch nur nebenbei behandelt, sehr ausführlich dagegen im 1. Kapitel die direkte Längenmessung mit Latten oder Band. Entschieden nicht zu billigen ist, dass bei mehreren Instrumenten, z. B. beim Polarplanimeter, die Handhabung ohne jede Begründung gelehrt wird. Bei den Höhenmessungen dürfte wohl das „Einwägen“ dem internationalen Nivelliren den alten Platz lassen. Seit Vogler das alte Markscheiderwort auch für die Nivellirungen über Tag wieder aufgenommen hat, ist es ja ziemlich in Uebung gekommen; aber der Referent ist der Ansicht, dass wir Deutsche den Ersatz solcher internationaler Wörter, wie Theodolit und Nivellirinstrument, durch „nationale“ Ausdrücke andern, kleinern Völkern überlassen könnten. Die Notiz über die Quecksilberbarometer (*S. 190 bis 192*) sollte wegbleiben; *so* wird sie gewiss Niemand etwas nützen. Auf Unrichtigkeiten einzugehen, fehlt hier der Raum.

Von der dritten Schrift gehört zunächst der ganze erste Theil, die Instrumentenlehre, hierher. Er umfasst die Beschreibung der Instrumentenbestandtheile, der Winkelmessinstrumente (Theodolite, Bussolen, Winkeltrommeln; auch Sextanten und Spiegelkreise; sodann der Instrumente für die festen Winkel 90° u. s. f.; unter Winkelauftrageapparaten werden Messtisch mit Kippregel und photogrammetrische Instrumente (?) abgehandelt), sodann die Betrachtung der Längenmesswerkzeuge, der Höheninstrumente (einfache — dabei fehlt die Setzlatte — und genauere Nivellirinstrumente, Barometer [Quecksilberbarometer 7 Zeilen]), der Universalinstrumente (beim Verf. „Tachymeter“, also abermals etwas Neues) und endlich der Wassermessinstrumente. Dieser, wie man sieht, ziemlich reichhaltigen Instrumentenlehre entspricht nicht ganz der zweite Theil, Messungslehre, doch kann hier darauf ebensowenig eingegangen werden, wie auf mehrere Versehen und Irrthümer, die der Durchsicht vor der zweiten Auflage ja wohl nicht Stand halten werden. *Hammer.*

K. Elbs, Uebungsbeispiele f. die elektrolytische Darstellung chemischer Präparate. gr. 8°. VIII, 100 S. m. 8 Fig. Halle, W. Knapp 1902. Geb. in Leinw. 4,00 M.

Congrès international *de Physique, réuni à Paris en 1900 sous les auspices de la Société Française de Physique. Travaux rassemblés et publiés par C. E. Guillaume et L. Poincaré. Tome IV; Procès verbaux; annexes; liste des membres.* gr. 8. Paris 1901. 6,00 M.
Das vollständ. Werk, 4 Bde. 48,00 M.

A. Bernthsen, Kurzes Lehrbuch d. organischen Chemie. 8. Aufl. gr. 8°. XVIII, 593 S. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1902. 10,00 M; geb. 10,80 M.

E. Briem, Rechentabelle zum Gebrauch bei Multiplikation u. Division. gr. 8°. IV, 99 S. Christiania 1901. Leipzig, A. Twietmeyer in Komm. 8,00 M.

M. Lévy, *Éléments de Cinématique et de Mécanique.* 8°. 300 S. m. Fig. Paris 1901. 6,80 M.

G. Naudet, *Expériences d'Électricité. Partie I: Piles, aimants, machines électrostatiques etc.* 8°. 60 S. m. Fig. Paris 1902. 1,50 M.

R. Paillot, *Recherches sur les Forces électromotrices d'aimantation.* gr. 8°. 91 S. m. Fig. Lille 1901.

L. Bell, *Electric Power Transmission.* 3. Ausg. 8°. 642 S. m. 31 Taf. u. 282 Fig. London 1902 Geb. in Leinw. 15,50 M.

C. Bourlet, *Cours de Statique, comprenant les éléments de Statique graphique et du Calcul des moments d'inertie.* 8°. 284 S. m. 185 Fig. Paris 1902. 8,50 M.

O. Dziobek, Lehrb. d. analytischen Geometrie. 2. Thl.: Analyt. Geometrie d. Raumes. gr. 8°. VIII, 314 S. m. 36 Fig. Braunschweig, A. Graff 1902. 6,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied,
Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Juni 1902.** Sechstes Heft.

Der grosse Refraktor des Königl. Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam.

Von
H. C. Vogel in Potsdam.

Im Jahre 1889 trat zum ersten Male der Gedanke auf, das Astrophysikalische Observatorium mit einem grossen, den Anforderungen der Neuzeit entsprechenden Fernrohre zu versehen, und bis in jene Zeit datiren auch die Bemühungen, bei der Konstruktion des Instruments diejenigen Bedingungen ausfindig zu machen, die für eine möglichst vielseitige Verwendung des Fernrohrs unter den durchaus nur wenig günstigen atmosphärischen Verhältnissen in Mitteldeutschland Bürgschaft gewähren.

Die Entscheidung, ob Spiegelteleskop oder Refraktor zu wählen sei, fiel bald zu Gunsten des letzteren aus, zumal da in erster Linie daran gedacht wurde, das Instrument zur Anstellung spektroskopischer Beobachtungen und insbesondere zur Weiterführung der Bewegungsbestimmungen der Gestirne in der Gesichtslinie nach den zuerst in Potsdam im Jahre 1888 angewandten spektrographischen Methoden zu verwenden.

Der Vortheil des Spiegelteleskops, frei von chromatischer Aberration zu sein, trat hier zurück in Anbetracht der Schwierigkeiten, welche die sichere Verbindung der den Verhältnissen des grösseren Instruments entsprechenden grösseren und schwereren Spektralapparate mit demselben verursachen. Einen weiteren Vortheil des Spiegelteleskops, der darin besteht, dass man für die Beobachtung von lichtschwachen Objekten von erheblicher scheinbarer Ausdehnung das Verhältniss Oeffnung zu Brennweite sehr gross wählen kann, dass man also bei gegebener Oeffnung eine viel geringere Rohrlänge hat als bei einem Refraktor, hätte man theilweise wieder aufgeben müssen, wenn das Instrument vorwiegend zu spektroskopischen oder spektrographischen Beobachtungen an Sternen dienen sollte. Volle Ausnutzung des vom Spiegel gesammelten Lichtes vorausgesetzt, müssen die Kollimatoren der Spektralapparate dasselbe Verhältniss von Oeffnung zu Brennweite besitzen wie der Spiegel, und wenn das Verhältniss sehr gross ist, wird damit eine aus verschiedenen Gründen unvortheilhafte Vergrösserung der anderen optischen Theile dieser Apparate, bei einer möglichst grossen linearen Ausdehnung der Spektra, wie sie zur genaueren Bestimmung der Linienverschiebung in Folge der Bewegung der Sterne erforderlich ist, bedingt.

Ich möchte nicht unerwähnt lassen, dass gegenwärtig die Wahl zwischen Spiegelteleskop und Refraktor von grösserer Dimension schwieriger gewesen wäre, nachdem durch die äusserst sinnreiche Konstruktion, die Ritchey den Spiegelteleskopen gegeben hat (*Astrophys. Journ.* **14.** *S. 217. 1901*), fast alle die erwähnten Bedenken,

namentlich auch in Bezug auf eine sichere Verbindung von Spektralapparaten beliebiger Dimensionen und Gewichte mit dem Teleskop gehoben zu sein scheinen.

Im Jahre 1895 wurde für das Potsdamer Instrument ein bestimmtes Projekt gefordert, und das Endresultat weiterer Ueberlegungen führte zur Ausführung eines Doppelrefraktors, dessen Objektive nahezu gleiche Brennweite (12 *m*), aber ungleiche Oeffnung besitzen. Das eine Objektiv, von 80 *cm* Oeffnung, wurde für die chemisch wirksamsten Strahlen achromatisirt, das andere, von 50 *cm* Oeffnung, für die optischen Strahlen. Es wurde bei der Festsetzung der Dimensionen des photographischen Refraktors von der Annahme ausgegangen, dass für die atmosphärischen Verhältnisse in Potsdam, die gegenüber denen an anderen Orten Mitteldeutschlands immerhin als recht günstig bezeichnet werden müssen, ein Instrument der angegebenen Dimensionen nicht zu selten voll ausgenützt werden könne, dass mit einer Brennweite von 12 *m* das zulässige Maximum erreicht sei und von grösseren Dimensionen keine Vortheile bei der durchschnittlichen Güte der Luft, weniger der Durchsichtigkeit als ganz besonders der Ruhe derselben, zu erwarten seien. Die Dimensionen für das optische Rohr hätten in Bezug auf die Objektivöffnung grösser sein können (an eine Objektivöffnung von 70 *cm* war vorübergehend gedacht worden); die dadurch bedingte erhebliche Vergrösserung des Gewichts des Doppelrohrs, welche bei der für die photographischen Aufnahmen direkt im Brennpunkt oder bei den spektrographischen Aufnahmen erforderlichen aussergewöhnlichen Stabilität des Instruments schon sehr gross war, gab den Ausschlag, bei der ersteren Annahme der Objektivöffnung stehen zu bleiben, ganz abgesehen von den sehr erheblichen Mehrkosten, die im anderen Falle daraus entstanden wären. Um bei guter Luft auch noch von der Lichtstärke des 80 *cm*-Objektivs für optische Beobachtungen oder für die Herstellung von Spektrogrammen im weniger brechbaren Theile des Spektrums Vortheile zu ziehen, wurde jedoch beschlossen, im photographischen Rohr noch eine Korrektionslinse in 2 *m* Abstand vom Brennpunkte auswechselbar anzubringen, durch welche eine Vereinigung von optischen Strahlen zeitweise hervorgebracht würde.

Zur Wahl eines Doppelrohres führten die überaus günstigen Erfahrungen, welche an dem photographischen Doppelrefraktor des Observatoriums (dessen für die chemisch wirksamsten Strahlen achromatisirtes Objektiv 32,5 *cm* Oeffnung besitzt), der zunächst für die Herstellung der photographischen Himmelskarte bestimmt war (vgl. *diese Zeitschr. 9. S. 193. 1889*), sowohl in Bezug für Aufnahmen im Brennpunkt des photographischen Rohres, wie auch zu spektrographischen Aufnahmen gemacht worden waren. Bei einem Instrument von grösserer Dimension schien es ganz besonders wichtig, nicht nur ein Rohr mit einem für optische Strahlen achromatisirten Objektiv mit Korrektionslinse für chemische Strahlen, oder umgekehrt, zu haben, da die Veränderungen am Instrumente, um dasselbe zu direkten Beobachtungen oder zu Beobachtungen mit Anwendung der Photographie vorzurichten, erhebliche Zeit in Anspruch nehmen, in welcher der Luftzustand sich oft so wesentlich verändert haben kann, dass damit die geplanten Beobachtungen vereitelt werden. Der Luftzustand spielt bei Instrumenten, die über die mittleren Dimensionen hinausgehen, überhaupt einen so enormen Einfluss auf die Beobachtungen, dass die Abende, an welchen grössere Instrumente mit Vortheil Verwendung finden können, wenig zahlreich sind.

Ebenso ernste Erwägungen, wie sie für die Festsetzung der Dimensionen des geplanten grossen Instruments und für die Konstruktion desselben in grossen Zügen erforderlich waren, wurden auch angestellt über die Wahl der Gläser zu den Objektiven und ihre Achromatisirung. Ich verweise hier auf eine Abhandlung von mir: „Die

Lichtabsorption als maassgebender Faktor bei der Wahl der Dimensionen des Objektivs für den grossen Refraktor des Potsdamer Observatoriums" (*Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1896. S. 1219*).

Die in derselben in erster Linie enthaltenen Absorptionsbestimmungen der verschiedenen Glassorten führten zu dem Resultat, die Achromatisirung des grossen 80 *cm*-Objektivs so auszuführen, dass die Strahlen von der Wellenlänge 450 $\mu\mu$ und 400 $\mu\mu$ genau vereinigt werden sollten, sodass ein gutes Zusammenfallen der Strahlen von der Wellenlänge 470 $\mu\mu$ bis 380 $\mu\mu$ erzielt werden konnte und der Scheitelpunkt der chromatischen Abweichungskurve sich etwa bei Wellenlänge 425 $\mu\mu$ befand.

Ich möchte hier vorausschicken, dass nach Vollendung und bei der Benutzung des Instruments in einem Zeitraum von reichlich zwei Jahren sich herausgestellt hat, dass die Wahl eines 12 *m* langen Rohres thatsächlich als das zulässige Maximum der Rohrlänge für ein zu wissenschaftlichen Zwecken zu verwendendes Instrument für unsere Luftzustände, namentlich in Bezug auf die Ruhe der Luft, angesehen werden muss. In Bezug auf die Achromatisirung sind wir auch an der oberen Grenze geblieben, indem die geringe Durchlässigkeit der Luft im Verein mit der starken Absorption der Gläser für Strahlen geringerer Wellenlänge bei Spektralaufnahmen gezeigt hat, dass nur in seltenen Fällen die Spektra über H und K hinaus genügende Intensität besitzen, und dass die oben erwähnten Absorptionsuntersuchungen der verschiedenen Glassorten, deren Resultate, beiläufig bemerkt, den Ansichten der grössten Optiker entgegen waren, von ausserordentlicher Wichtigkeit gewesen sind.

Das für chemische Strahlen achromatisirte Objektiv von 32,5 *cm* Oeffnung des Potsdamer Photographischen Refraktors (*diese Zeitschr. 9. S. 193. 1889*) ist so achromatisirt worden, dass der Scheitel der chromatischen Abweichungskurve etwa bei $H\delta$ (Wellenlänge 410 $\mu\mu$) gelegen ist. Bei der geringen Glasdicke ist die Absorption der violetten Strahlen sehr gering, und es lassen sich noch brauchbare Spektra erhalten, die sich bis zur Wellenlänge 365 $\mu\mu$ erstrecken. Wäre nun, ohne Berücksichtigung der sehr viel grösseren Glasdicke und der damit stark wachsenden Absorption, das 80 *cm*-Objektiv ebenso achromatisirt worden, wie das 32,5 *cm*-Objektiv, so wäre es unzweifelhaft vollständig verfehlt gewesen.

Die Herstellung des mechanischen Theils des grossen Fernrohrs wurde der Firma A. Repsold & Söhne in Hamburg übertragen, welche in dem für die Sternwarte in Pulkowa bestimmten Refraktor von 76 *cm* Oeffnung, dessen Ausführung sie im Jahre 1882 übernahm, ein Instrument von in jeder Beziehung bewundernswerth durchdachter Feinheit geliefert hatte. Die Konstruktion dieses Instruments von ähnlicher Grösse, wie das für Potsdam geplante, konnte bei den Entwürfen für letzteres zwar zu Grunde gelegt, aber nur theilweise benutzt werden, da das Potsdamer Instrument fast in allen Theilen wesentlich stärker gebaut ist als das Pulkowaer. Es bleibt daher eine erwähnenswerthe und für die Leistungsfähigkeit der Firma sprechende Thatsache, dass drei Jahre nach Abschluss des Kontrakts das Potsdamer Instrument fertig an Ort und Stelle aufgestellt war.

Jeder, der sich eingehender mit der Konstruktion grosser Repsold'scher Instrumente vertraut machen will, kann auf die ausführliche von Dr. J. Repsold selbst verfasste Beschreibung des Pulkowaer Instruments in der Schrift „Zum 50-jährigen Bestehen der Nicolai-Hauptsternwarte" (Petersburg 1889) verwiesen werden. Hier werde ich mich darauf beschränken, eine Beschreibung des Potsdamer Instruments nur in grösseren Zügen zu geben, und mich nur da etwas näher in Details einlassen, wo das Instrument wegen der Eigenart seiner Bestimmung

wesentlich von der üblichen Konstruktion grösserer Repsold'scher Refraktoren abweicht.

Das Doppelfernrohr (vgl. die Totalansicht) besteht aus einem gusseisernen Mitteltheil (80 *cm* lang) und zwei 5,6 *m* bezw. 4,8 *m* langen anschliessenden, aus Stahlblech genieteten Rohren von ovalem Querschnitt. Die Längsachse des Ovals steht senkrecht zur Deklinationsachse. Am oberen Ende ist das Rohr durch eine starke ovale Stahlplatte (grosse Achse 142 *cm*, kleine Achse 85 *cm* lang) abgeschlossen; sie besitzt zwei der Grösse der Objektive entsprechende Oeffnungen, welche letztere mit ihren mit Flansch versehenen Fassungen direkt auf die Platte aufgeschraubt sind. Bei der exakten Ausführung des Rohres ist die Verschlussplatte so genau senkrecht zur Achse des Rohres, dass von einer Korrektionsvorrichtung für die Objektive abgesehen worden ist. Damit die optischen Achsen der beiden Objektive nicht zu weit auseinander kommen, sind die Flansche senkrecht zur Verbindungslinie beider Objektive abgeschnitten worden. Die Länge des ganzen ovalen Rohres beträgt 11,24 *m*; es ist am unteren Ende ebenfalls durch eine starke ovale Platte (grosse Achse 108 *cm*, kleine Achse 59 *cm*) abgeschlossen. Das ovale Rohr ist demnach vom Objektivende nach dem Okularende zu konisch verjüngt. Beide Verschlussplatten sind durch eine ebene Scheidewand verbunden, welche das im optischen Rohre für Faden- oder Feldbeleuchtung erforderliche Licht von dem photographischen Rohre abhält, zugleich aber noch zur Versteifung des ganzen Rohres beiträgt.

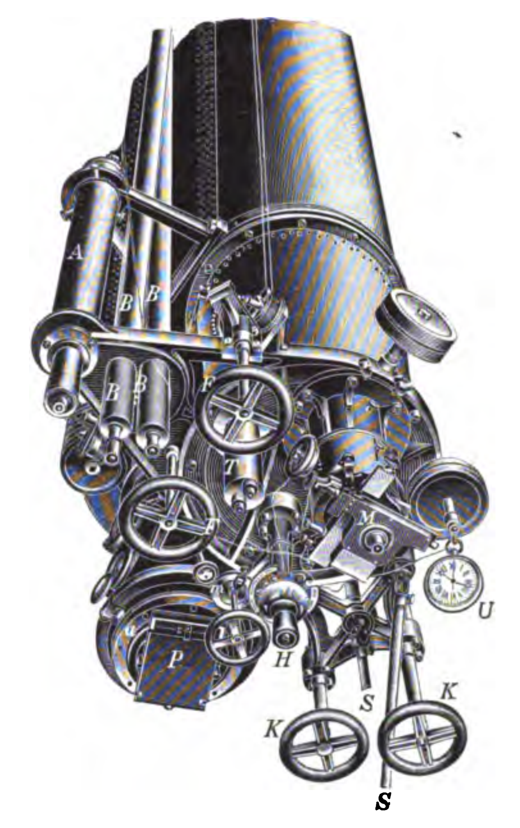
Durch die untere Verschlussplatte tritt für das photographische Rohr ein sehr kräftiges Auszugsrohr (äusserer Durchmesser 29 *cm*), an welchem ein aus Gusseisen hergestellter Zylinder von etwa 56 *cm* Länge und 36 *cm* Durchmesser befestigt ist. Dieser Zylinder ist seitlich an vier Stellen mit Löchern versehen, die die Bestimmung haben, irgend welche vor dem Spalt der Spektralapparate anzubringende Hülfsvorrichtungen, namentlich Vorrichtungen zur Erzeugung von Vergleichsspektren, einzuführen.

Diese Oeffnungen können lichtdicht verschlossen werden, wenn am unteren Ende des Zylinders kein Spektralapparat, sondern eine Kassette angesetzt worden ist, um direkt im Brennpunkt des 80 *cm*-Objektivs Aufnahmen zu machen, oder nach Einschaltung der eingangs erwähnten Korrektionslinse, durch welche das photographische Objektiv in ein optisches verwandelt wird, an Stelle der Kassette Okulare zu direkten Beobachtungen eingeschraubt worden sind.

Da es für manche spektrographische und spektroskopische Beobachtungen von Wichtigkeit ist, die Spektralapparate um die optische Achse des Fernrohrs drehen zu können, hatte ich gewünscht, dass die am unteren Ende des Zylinders befindliche Anschlagsfläche, an welcher die verschiedenen Apparate angesetzt werden können, im Positionswinkel drehbar sein müsse. Diese Vorrichtung ist ausgeführt worden; es waren dabei aber einige Schwierigkeiten zu überwinden, da Apparate bis zu 1 *m* Länge und 50 *kg* Gewicht getragen werden müssen, ohne dass die Stabilität des Ganzen darunter leiden darf. Repsolds haben diese Schwierigkeiten überwunden; die Drehung lässt sich auch beim schwersten Spektralapparate mit Leichtigkeit vornehmen und die Ablesung des getheilten Kreises mit einer Lupe sehr bequem ausführen.

An der vorerwähnten unteren ovalen Verschlussplatte des grossen Fernrohrs, die natürlich für den Durchtritt des vom optischen Objektiv kommenden Strahlenkegels eine entsprechend grosse Oeffnung hat, ist neben dem soeben etwas eingehender beschriebenen Auszug für das photographische Rohr ein grosses, kräftiges, in Guss-

eisen ausgeführtes Zylinderstück (83 *cm* lang, Durchmesser 54 *cm*) angesetzt, welches die Verlängerung des optischen Rohres darstellt. Es ist deshalb so schwer und kräftig hergestellt worden, weil es sich vorzüglich eignete, am unteren Ende den Halt für die Gestänge zum Klemmen und Feinstellen des Fernrohrs zu tragen; es sind ausserdem die etwa 6 *m* langen Rohre für die Mikroskope zum Ablesen des Rektaszensions- und des Deklinationskreises und der Sucher an diesem Gussstück befestigt worden. Das untere Ende dieses Zylinderstücks liegt ungefähr in der Brennebene des photographischen Rohrs, und nun setzt sich noch ein etwa 35 *cm* langes zylindrisches Stück an, welches den Okularauszug für das optische Rohr trägt. Dieses Endstück ist mit Flansch so angesetzt, dass eine geringe Verschiebung in der Ebene senkrecht zur optischen Achse möglich ist, welche durch drei radial wirkende, am Rand des Flansches angreifende Schrauben bewerkstelligt werden kann, um die optischen Achsen beider Rohre parallel zu machen. An dem Okularauszug können nun entweder die Okulare direkt angebracht werden oder nach Zwischenschaltung eines einfachen Mikrometers, oder aber es kann das Repsold'sche Positionsmikrometer des früher grössten Instruments des Observatoriums (von 30 *cm* Oeffnung) mit seinen verschiedenen Okularen angesetzt werden.



Da die Spektralapparate durchschnittlich eine Länge von etwa $^3/_4$ *m* haben, war es vortheilhaft, den Brennpunkt des optischen Rohres, welches bei spektrographischen Beobachtungen als Leitrohr dient, in eine Ebene zu verlegen, die nicht zu weit vom Ende der Spektralapparate abliegt, und es wurde daher die Brennweite des optischen Rohrs von 12 *m* auf 12,5 *m* vergrössert.

In dem beistehenden Holzschnitt ist der Okulartheil des Fernrohrs abgebildet, über dessen einzelne Theile Folgendes erwähnt werden möge. *A* ist der Sucher, *B B* sind die Mikroskope, durch welche der Rektaszensions- und der Deklinationskreis vom Okularende aus abgelesen werden können. Wie weiter unten erwähnt werden wird, lassen sich diese Kreise auch noch vom Fussboden der Kuppel aus in der Nähe der Säule, welche das Fernrohr trägt, da, wo die Handräder zur leichten Bewegung und zur Einstellung des Fernrohrs sich befinden, ablesen. *K K* sind die Klemmen für die Aufhebung der Bewegung des Fernrohrs in den beiden Koordinaten Rektaszension und Deklination, *F F* sind Handräder für die Feinbewegung, *S S* Schlüssel, durch welche eine noch feinere Einstellung des Fernrohrs bewerkstelligt werden kann. Bei *T* befindet sich die Ablesevorrichtung für zwei im Innern des Fernrohrs angebrachte Thermometer, von denen das eine in der Nähe des Okulars, das andere in der Nähe des Objektivs angebracht ist. *H* ist eine Handhabe, mit welcher man auch vom Okularende aus gröbere Bewegungen des Fernrohrs ausführen kann. An

derselben laufen die Drähte aus, die zur elektrischen Beleuchtung verschiedener Theile des Fernrohrs dienen. Es befindet sich an der Handhabe ein Glühlichtlämpchen, vor dessen direkten Strahlen der Beobachter durch eine metallene Hohlschale geschützt wird. Dieses Glühlichtlämpchen beleuchtet den ganzen Okulartheil mit seinen komplizirten Einrichtungen so weit, dass man sich abends leicht zurechtfinden kann. Das Licht desselben fällt direkt auf die Theilscheibe *m*, vor welcher man das Handrad zur Bewegung des Okularauszugs erblickt, dessen Stellung man durch die auf der Scheibe *m* befindliche Theilung auf das Genaueste ablesen kann. Es fällt ferner auf eine Scheibe, an deren Rand folgende Bezeichungen sich befinden: Okularkopf, Plattendrehung, Rektaszension, Deklination, oberes Thermometer, unteres Thermometer, Feldbeleuchtung. Durch Drehung eines Hebels von einer der angegebenen Stellen zur anderen werden der Reihe nach die der Aufschrift entsprechenden Theile erleuchtet. Der richtige elektrische Schluss giebt sich bei jeder Einstellung durch ein theilweises Erlöschen des Glühlichtlämpchens, welches die Einstellungsscheibe beleuchtet, kund. Bei der Stellung „Okularkopf" können am Mikrometer *M* durch besondere Kontakte zwei Beleuchtungen hintereinander vorgenommen werden, durch welche helle Fäden entstehen oder die Trommel des Mikrometers abgelesen werden kann.

Der einfache Mikrometerapparat *M* kann, wie oben gesagt wurde, gegen ein komplizirteres Positionsmikrometer ausgewechselt werden. An dem Auszug für das photographisch achromatisirte 80 *cm*-Objektiv ist in der Abbildung die Kassette *P* zu sehen, der untere Theil des Auszugs mit der Anschlagsfläche *a* ist im Positionswinkel drehbar, der Kreis wird mit Lupe abgelesen und wird bei der obenerwähnten Stellung der Beleuchtungsvorrichtung „Plattendrehung" erleuchtet. An der Anschlagsfläche *a* können, nach Entfernung der Kassette *P*, verschiedene Apparate, besonders auch die grossen Spektrometer und Spektrographen, angebracht werden. Auf der Totalansicht des Instruments befindet sich am Fernrohr ein Spektrograph von 1,3 *m* Länge mit einem Prisma. *U* in umstehender Figur ist ein elektrisches Zeigerwerk, welches durch eine im Kuppelraum aufgestellte Normaluhr Antrieb erhält.

Die Säule, welche das Fernrohr trägt, ist von Gusseisen; sie besteht aus sieben durch Schraubenbolzen verbundenen Theilen. Der Fuss ist ein hohler Konus von 45° Böschungswinkel, dessen unterer Rand einen Durchmesser von 3,2 *m* hat; er ist direkt auf einem mächtigen, hohlen, gewölbten Backsteinpfeiler aufgesetzt und später, nach berichtigter Aufstellung des Instruments, durch Zementguss innig mit demselben in Verbindung gebracht worden. Der nächste Theil der Säule tritt durch den Fussboden der Kuppel; er ist zuerst ein Stück zylindrisch (Durchmesser 1,6 *m*), dann, wie die anderen darauf sich aufbauenden vier Theile, schwach konisch. Der Kopf der Säule besteht aus einem in Eisenguss ausgeführten, kastenartigen Hohlkörper; eine Fläche desselben liegt horizontal, eine andere ist unter dem Polhöhenwinkel gegen die erstere geneigt. Auf dieser Fläche ist die gusseiserne Lagerbüchse der Stundenachse befestigt. Um diese genau in den Meridian zu bringen, lässt sich der obere, konische Theil der Säule mit dem Kopf und zwar zwischen dem zweiten und dritten Ringstück, von oben gezählt, durch im Innern angebrachte Stellschrauben drehen. Die Korrektion der Neigung der Stundenachse gegen den Horizont geschieht am Kopf der Säule durch zwei Abstoss- und Anzugschrauben. In dem hohlen Backsteinpfeiler sind Leitern aufgestellt, auf welchen man ohne Mühe durch eine im Gewölbe des Pfeilers befindliche Aussteigöffnung in die Instrumentsäule gelangen kann, in welcher sich wiederum eine Leiter zum Aufsteigen in derselben befindet. Die Höhe des Kreuzungs-

punktes der Rektaszensions- und der Deklinationsachse ist 7,5 *m* über dem Fussboden der Kuppel und 8,5 *m* über der Oberfläche des Backsteinpfeilers.

Auf der beigegebenen Totalansicht des Instruments ist das nach Süden an die Säule angebrachte, aus Holz gefertigte Podium zu sehen, zu dem man auf Holzleitern gelangt. Von diesem Podium aus kann man leicht behufs Oelung zu den Lagern der Rektaszensionsachse kommen, sowie zu einem am unteren Ende dieser Achse befindlichen feingetheilten Kreis, der mit Mikroskop abgelesen wird, jedoch nur selten bei der feineren Justirung der Aufstellung des Instruments benutzt wird. Weiter gelangt man zu einem kleinen Fahrstuhl, auf dem man sich durch Drehung an einem hinter dem Sitz befindlichen Rad um den Kopf der Instrumentensäule herum bewegen kann, wenn das Fernrohr nahezu im Meridian und westlich von der Säule liegt. Hat man sich auf dem Fahrstuhl so weit gedreht, dass derselbe sich im Norden von der Säule befindet, so hat man zunächst die Schraube, welche die Drehung des Instruments durch ein Uhrwerk bewirkt, vor sich. Man kann dieselbe leicht ölen und reinigen, sowie eine grosse Strecke des an der Stundenachse befindlichen Uhrkreises, der einen Durchmesser von 1,7 *m* besitzt. Steigt man auf den Sitz des Fahrstuhls, wobei ein eiserner am Instrument befestigter Bügel den nöthigen Schutz gewährt — man befindet sich etwa 6 Meter über dem Fussboden — so kann man ohne Mühe und Gefahr zu den Lagern der Deklinationsachse gelangen.

Durch diese höchst sinnreiche Vorrichtung hat Repsold dem Potsdamer Instrument gegenüber dem Pulkowaer eine werthvolle Vervollkommnung gegeben. Ein weiterer Vorzug des Potsdamer Refraktors besteht darin, dass Repsold, auf meinen dringenden Wunsch, die Bewegung des Instruments nicht von dem soeben erwähnten Podium, sondern vom Fussboden der Kuppel aus bewerkstelligt hat. Mittels zweier Handräder, die auf der Südseite der Säule des Instruments unter dem Podium sich in bequemer Höhe befinden, lässt sich das Fernrohr mit Leichtigkeit bewegen (Gewicht des beweglichen Theils etwa 7000 *kg*; Gesammtgewicht des ganzen Instruments rund 20000 *kg*). Die Einstellung nach Rektaszension und Deklination geschieht dabei durch zwei in der Augenhöhe befindliche Okulare, welche die unteren Enden einer langen Rohr- bezw. Lichtleitung nach den Kreisen des Instruments bilden.

Das Uhrwerk für die Drehung des Instruments um die Stundenachse ist dem für das Pulkowaer Instrument ganz ähnlich gebaut (s. die Repsold'sche Beschreibung *a. a. O. S. 52*), und auch die Aufstellung desselben sollte, wie in Pulkowa, in der Nähe der Umfassungsmauer des Beobachtungsraums sein. Wir sind aber später übereingekommen, um Torsionswirkungen bei der langen Zuleitung zur Instrumentensäule zu vermeiden, die Aufstellung des Regulators (Repsold'sches Federpendel) dicht an die Säule zu verlegen.

In der Totalansicht des Instruments ist das im Norden von der Säule befindliche, 1,2 *m* hohe Gehäuse für den Regulator zu sehen. Es hat demnach eine Trennung von der Gewichtwelle (Aufziehwelle) und den ersten grösseren Rädern des Uhrwerks stattgefunden, welche letztere in einer Nische der Umfassungsmauer der Kuppel, die von aussen vom Treppenhause zugänglich ist, untergebracht wurden. Die Kraftübertragung nach dem Fernrohr geschieht durch unter dem Fussboden laufende, lange, mit einander verkoppelte Rohre, die bis zum Regulator gehen; von diesem geht ein Rohr gerade in die Höhe zur Uhrschraube des Fernrohrs.

Das Material für die Objektive ist von Schott & Gen. in Jena bezogen worden (Flint O. 340; Crown O. 203). Die Berechnung und Ausführung des Schliffs der beiden grossen Objektive und der Korrektionslinse des 80 *cm*-Objektivs für

optische Strahlen, sowie sämmtlicher optischer Theile des Instruments sind von der Firma C. A. Steinheil Söhne in München ausgeführt worden. Es mag hierbei besonders hervorgehoben werden, dass die Fertigstellung der Objektive ebenfalls, wie die der mechanischen Ausführung des Instruments, ganz streng nach den Kontraktbestimmungen eingehalten werden konnte (Lieferungszeit 3 Jahre), dass die Brennweiten innerhalb weniger Zentimeter mit den gewünschten Längen übereinstimmen, und dass die Korrektionslinse zur Umwandlung des chemisch achromatisirten 80 *cm*-Objektivs in ein optisches Objektiv vorzüglich gelungen ist und die Brennweite des Objektivs bei der Einschaltung der Korrektionslinse nur um einige Millimeter verändert wird.

Bei der Wahl der Hülfsmittel, um den Beobachter leicht in bequeme und sichere Stellungen zu dem Okulartheil des Instruments zu bringen, ist anfänglich lange geschwankt worden, ob nicht die in Amerika mit grossem Erfolge angewandten Schwebeböden anstatt eines Fahrstuhls, bei welchem der Beobachter meist eine sehr beengte Stellung einzunehmen hat, vorzuziehen sei. Die Entscheidung fiel zu Gunsten eines Fahrstuhls aus; der Mangel an genügendem Wasserdruck zur Bewegung des Schwebebodens gab in erster Linie den Ausschlag. Es handelte sich nun darum, einen möglichst praktischen Fahrstuhl zu konstruiren, auf dem mehrere Beobachter sich bequem bewegen können, und der geräumig genug ist, auch sehr verschieden lange Apparate am Okularende des Fernrohrs zuzulassen. Ich kann nur bezeugen, dass die kühnsten Erwartungen in Bezug auf die Bequemlichkeit, die der Beobachtungsstuhl bieten würde, in jeder Beziehung übertroffen worden sind.

Eine sehr glückliche Idee rührt von Dr. J. Repsold her, der vorschlug, den Fahrstuhl gegenüber dem Spalt an die Kuppel so anzuhängen, dass er, mit der Drehung der Kuppel bewegt, immer dem Spalt derselben gegenüber bleibt. Um bei verschiedenen Lagen des Fernrohrs gegen die Instrumentsäule mit dem Fernrohr vom Fahrstuhl aus einen freien Ausblick durch den Spalt der Kuppel zu ermöglichen, war es nur noch erforderlich, den Fahrstuhl auf einer beschränkten Bahn gegen die Kuppel bewegen zu können.

Die Firma C. Hoppe in Berlin hat die auf der Totalansicht des Instruments zu erkennende Konstruktion (Eisen) und die Ausführung des Fahrstuhls übernommen. Der Fahrstuhl hängt an einem starken mit der Kuppel verbundenen Kreisbogenstück von 60^0 und kann auf demselben unabhängig von der Drehung der Kuppel hin und her bewegt werden. Den zweiten Stützpunkt hat der Fahrstuhl auf dem Fussboden der Kuppel auf einer kreisrunden in dem Fussboden eingelassenen Eisenbahn von 8,5 *m* Durchmesser.

Das durch zwei schnellsteigende Schrauben auf- und abzubewegende Podium (Tragfähigkeit für eine Belastung von 8 Personen berechnet) kann bis 2,7 *m* Höhe über den Fussboden gehoben werden, und der Beobachter kann auf einer leichten Stehleiter, die bequem auf dem Podium von 7 *qm* Fläche Platz hat, bis zu 5,4 *m* Augenhöhe kommen. Bei nur geringer Neigung des Fernrohrs gegen den Horizont kommt eine feste Plattform, zu welcher man auf zwei neben der Hebebühne aufsteigenden Treppen gelangt, zur Benutzung. Sie befindet sich in 4,7 *m* Höhe über dem Kuppelboden. Auf derselben ist ein Krahn angebracht, der dazu dient, schwere Apparate am Okularende des Fernrohrs mit Leichtigkeit vom Fahrstuhl aus anzubringen.

Alle Bewegungen am Beobachtungsstuhl sind für Handbetrieb eingerichtet, lassen sich aber auch auf elektrischem Wege ausführen.



Der grosse Refraktor des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam.

Der Kuppelraum hat 21 *m* lichte Weite und 18 *m* Höhe. Er ist begrenzt durch einen 90 *cm* starken und 5,5 *m* hohen Mauerring, auf welchem der untere Laufkranz für den beweglichen, nahezu halbkugelförmigen Oberbau ruht. Auf den beiden Laufschienen rollt der aus 20 Rollenwagen zu je drei Rollen bestehende Rollenkranz mit den beiden äusseren Rollen, während seine mittleren Rollen den oberen Laufkranz mit der fest darauf verschraubten Kuppel tragen. Das Gewicht der Kuppel mit dem daran hängenden Beobachtungsstuhl beträgt rund 200 000 *kg*. Die Bewegung derselben kann durch Handbetrieb oder mittels einer elektrischen Kraftmaschine (volle Umdrehung der Kuppel in 5 Minuten) erfolgen, der Angriffspunkt ist im Osten der Kuppel gelegen. Die Uebertragung der Kraft erfolgt durch eine Kette, welche um den Aussenrand des oberen Laufkranzes gelegt ist. Innen ist die Kuppel mit 8 *mm* starkem Zypressenholz bekleidet, um bei Temperaturwechsel das Abtropfen des Thauwassers von den Metalltheilen nach dem Kuppelraum zu verhindern; aussen ist sie mit 2 *mm* dickem Eisenblech gedeckt. Die Spaltöffnung in der Kuppel beträgt 3,8 *m* und reicht 1,5 *m* über das Zenith hinaus; der sie verschliessende Schieber, etwa 14,5 *m* lang, kann in die hintere, verschlossene Seite der Kuppel hineinbewegt werden. Wenn er herunter gelassen ist, lässt er noch eine Oeffnung von etwa 4,5 *m* unbedeckt, die durch eine fahrbare zweiflüglige Thür verschlossen werden kann. Die Bewegung der letzteren kann nur durch Handbetrieb geschehen, während der ersterwähnte Schieber sowohl durch Handbetrieb als auch durch zwei zwangläufig verbundene Elektromotoren, die auf der an dem drehbaren Theil der Kuppel befindlichen Galerie stehen, bewegt werden kann. Diese Bewegung des Schiebers wird durch automatische Stromunterbrecher an den Endstellen aufgehoben; dieselbe Schutzvorrichtung besitzt auch die Bewegungsvorrichtung für die Hebebühne des Beobachtungsstuhls. Die grossen Dimensionen der Kuppel erforderten eine beträchtliche Konstruktionshöhe, die zwischen der inneren und der äusseren Kuppelhaut im Zenith etwa 2 *m* beträgt. Um nun bei dem Beobachten nicht durch einen Schacht von nahezu 2 *m* hohen Begrenzungswänden hindurchsehen zu müssen, sind nach meinen Angaben die Begrenzungswände des Spaltes schräg angefertigt worden, wodurch ein leichter Abfluss der inneren Luft nach aussen erfolgen kann und die Ausgleichungsschicht der Temperatur in der Nähe des Spaltes möglichst verringert worden ist.

Den Bewegungsmechanismus für die Kuppel hat ebenfalls die Firma C. Hoppe in Berlin ausgeführt. Den Kuppelbau hat die Firma Bretschneider & Krügner in Pankow übernommen, während die elektrische Einrichtung von der Firma Siemens & Halske ausgeführt wurde. Eine Akkumulatorenbatterie von 60 Elementen (120 Volt, 80 Ampere) befindet sich mit einem 12-pferdigen Gasmotor und der Dynamomaschine zur Erzeugung der zum Betrieb erforderlichen Elektrizität in einem kleinen, nordwestlich von der grossen Kuppel gelegenen Maschinenhause.

Ich füge noch einige Bemerkungen über die Kosten des Instruments hinzu, die Manchem von Interesse sein könnten.

Montirung des Doppelrefraktors einschl. Aufstellungs- und Transportkosten	142 000 M.
Grosses Objektiv von 80 *cm* Durchmesser einschl. Korrektionslinse und sonstiger kleinerer optischer Theile	67 500 „
Zweites Objektiv von 50 *cm* Durchmesser	25 000 „
	234 500 M.
Beobachtungsstuhl mit elektrischer Bewegungseinrichtung . . . . rund	13 000 M.

Ueber neuere Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfür bestimmten Stereo-Komparator.

Von
Dr. C. Pulfrich in Jena.
(Mittheilung aus der optischen Werkstaette von Carl Zeiss.)

(Fortsetzung von S. 141.)

IV. Grundzüge der Stereo-Photogrammetrie.

Begrenzung der Aufnahmebedingungen. Die Anwendung des Stereo-Komparators auf die Aufgaben der Photogrammetrie stellt selbstverständlich auch an die photographischen Apparate und an deren Aufstellung bestimmte Anforderungen. Denn gerade so wie der aus zwei Objektiven und zwei Okularen zusammengesetzte stereoskopische Entfernungsmesser ein einheitliches Ganze bildet, so gehören auch hier, wenn auch zeitlich und örtlich getrennt von einander, *die photographischen Apparate und der Stereo-Komparator zusammen*, und es ist klar, dass man die im Stereo-Komparator beobachteten stereoskopischen Effekte nur dann als im Einklang befindlich mit der Wirklichkeit in Bezug auf die Tiefenfolge der angeschauten Objekte ansehen darf, wenn auch die Aufnahmen den hierfür erforderlichen Bedingungen entsprechen. An die Benutzung einer Tiefenskale wie beim stereoskopischen Entfernungsmesser ist beim Stereo-Komparator, da nicht immer die gleiche Standlinie benutzt wird, und aus anderen Gründen überhaupt nicht zu denken. Die Ermittelung der Entfernung und der beiden anderen Raumkoordinaten erfolgt ausschliesslich durch *Rechnung*, und die Art des Rechenverfahrens richtet sich wiederum nach den Versuchsbedingungen bei den photographischen Aufnahmen. Wenn man nun die Bedeutung des stereoskopischen Beobachtungs- und Messverfahrens auch so auffassen kann, dass man in dem stereoskopischen Verfahren nur ein bequemes Hülfsmittel erblickt, die in der Ebene der Platten gelegenen, in die Richtung der Verbindungslinie der Okulare fallenden Verrückungen der Bildpunkte zu erkennen und zu messen, ganz unbekümmert darum, ob der beobachtete stereoskopische Effekt der Wirklichkeit entspricht oder nicht, so glaube ich doch, dass man bei stereo-photogrammetrischen Aufgaben *Werth darauf legen muss*, *jeden Widerspruch der Vorstellungen in Bezug auf scheinbare und thatsächliche Tiefenfolge der im Stereo-Komparator angeschauten Objekte von vornherein zu vereiteln.* Denn ein solcher Widerspruch wirkt sinnverwirrend, es fehlt ferner die durch den unmittelbaren Anblick gegebene Kontrole der Rechnung, und dass diese selbst sich wesentlich verwickelter gestaltet, ist auch keine Annehmlichkeit.

Ich erachte daher die Frage der Begrenzung der Aufnahmebedingungen für die Zwecke der Stereo-Photogrammetrie für eine *Frage von grundsätzlicher Bedeutung*, die sich Jeder vorzulegen hat, der der Sache praktisch näher tritt, die Frage nämlich: ob der Beobachter es vorzieht, bei der photographischen Aufnahme die mit der Erfüllung der erforderlichen Bedingungen vorhandenen — aber, wie wir sehen werden, nicht schwer wiegenden — Schwierigkeiten zu überwinden und dann später bei der stereoskopischen Betrachtung der Platten auf dem Stereo-Komparator und bei der Ausmessung derselben aller Verwickelungen und Widersprüche hinsichtlich der Deutung des beobachteten stereoskopischen Effektes und aller Umständlichkeiten hinsichtlich der Rechnung enthoben zu sein, oder ob es ihm vortheilhafter erscheint, die beiden Aufnahmen mehr oder weniger ohne Rücksicht auf die Anforderungen unserer Aufgabe zu machen und dann die Ueberwindung aller hieraus sich ergebenden

Schwierigkeiten, wozu auch die nachträgliche, auf Grund der in der Landschaft vorhandenen Fixpunkte zu bewirkende genaue Feststellung der Aufnahmebedingungen gehört, der Laboratoriumsarbeit zu überweisen (vgl. auch die Schlussbemerkungen *S. 191*).

Ich glaube, dass man sich in dieser Frage um so leichter entschliessen wird, wenn man bedenkt, dass die Stereo-Photogrammetrie wegen der grösseren Genauigkeit des stereoskopischen Messverfahrens Standlinien von 500 *m* und 1000 *m* Länge, wie sie bei den bisherigen photogrammetrischen Methoden vorkommen, gar nicht benöthigt, da man schon mit 10- bis 20-mal kleineren Standlinien dasselbe erreicht, und wenn man weiter berücksichtigt, dass kurze Standlinien viel leichter in die für unsere Aufgabe erforderliche Lage zu der aufzunehmenden Landschaft gebracht werden können, als dies bisher mit den viel längeren Standlinien möglich war.

Dem zu Folge möchte ich nunmehr für die Zwecke der Stereo-Photogrammetrie unsere *Aufgabe dahin präzisiren,* dass wir uns auf solche Aufnahmen beschränken, welche der Bedingung genügen, *dass die optischen Achsen der in sich richtig justirten photographischen Apparate parallel zu einander gerichtet sind und auf der Standlinie* — der Verbindungslinie der Objektive — *senkrecht stehen*, welche Bedingung sich auch so ausdrücken lässt, dass man sagt, *die beiden* senkrecht zu den optischen Achsen gerichteten *Platten müssen bei der Aufnahme in einer der Standlinie parallelen Ebene gelegen sein.* Ob hierbei die beiden Aufnahme-Stationen in gleicher oder in verschiedener Höhe gelegen sind und wie auch die Ebene der Platten zur Horizontalen gerichtet sein mag, *soll gleichgültig sein.* Die Aufnahmen, welche unter diesen Bedingungen erfolgt sind, entsprechen, ihre richtige Orientirung und Justirung auf dem Stereo-Komparator vorausgesetzt — siehe dieserhalb die Angaben des Abschnittes III, *S. 133 u. 138* — durchaus den von mir aufgestellten Anforderungen, wie ich im Folgenden noch näher darlegen werde.

Wir werden nun dazu übergehen, zu zeigen, in welcher Weise den vorbezeichneten Bedingungen bei der Aufnahme Genüge gethan wird, und wir haben uns daher im Folgenden zuerst mit den instrumentellen Hülfsmitteln zu beschäftigen, welche uns zur Lösung der Aufgabe dienen sollen.

Ganz besonders *günstig* für die Einhaltung unserer Aufnahmebedingungen liegen die Verhältnisse *an Bord eines Schiffes.* Nicht allein verfügt man in der Schiffslänge — die beiden photographischen Apparate am vorderen und hinteren Ende des Schiffes an geeigneter Stelle aufgestellt — über eine ziemlich lange Standlinie, die überdies noch horizontal gelegen ist; die einmal eingestellten Apparate können auch dauernd ihren Platz beibehalten und es lassen sich leicht Einrichtungen treffen, mit deren Hülfe die elektrische Auslösung der Momentverschlüsse selbst während der Fahrt vorgenommen wird. In Anbetracht des grossen Werthes, den gerade der telestereoskopische Einblick in Küstenlandschaften, Inselgruppen, Flussmündungen u. s. w. gewährt, sollten wenigstens *Expeditionsschiffe und Vermessungsfahrzeuge* in Zukunft sich diese Gelegenheit zu telestereoskopischen Aufnahmen nicht entgehen lassen. Derartige Meeresaufnahmen würden ausserdem noch den besonderen Reiz darbieten, dass die Krümmung der Meeresoberfläche in diesen Bildern unmittelbar zur Anschauung gelangt[1]).

Anforderungen an die photographischen Apparate. Bei jedem zu stereo-photogrammetrischen Arbeiten benutzten photographischen Apparat muss die Grundbedingung erfüllt sein, dass die Platte auf der optischen Achse senkrecht steht und dass das

[1]) Solche Bilder werden gegenwärtig auf meine Bitte von Seiten der Zoologischen Station in Neapel ausgeführt. Ueber dieselben wird bei anderer Gelegenheit noch näher berichtet werden.

auf ihr befindliche 90°-Strichkreuz mit seinem Durchschnittspunkt in der optischen Achse gelegen ist. Ausserdem muss noch in Fällen, wo *zwei* photographische Apparate benutzt werden, bezw. benutzt werden müssen, z. B. bei Stereo-Momentaufnahmen der Meeresoberfläche, der Wolken u. s. w., bei Stereo-Aufnahmen von Nordlichtern, Sternschnuppen und Blitzen, oder von irgend welchen anderen Objekten, deren Aufenthalt an einer bestimmten Stelle des Raumes an eine bestimmte Zeit gebunden ist, die Platte in beiden Apparaten genau den *gleichen Abstand* vom Objektiv haben. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, so treten *Unterschiede in der Bildgrösse* auf, die sich unter dem Stereo-Komparator als Tiefenunterschiede der links und rechts gelegenen Randbilder gegen die der Mitte bemerkbar machen, aber mit den durch wahre Tiefenunterschiede bewirkten parallaktischen Differenzen gar nichts zu thun haben. Dieser Umstand ist für Landschafts- und Wolkenaufnahmen besonders wichtig. Bei Sternaufnahmen und bei der Aufnahme solcher Objekte wie Sternschnuppen und Nordlichter, für welche der Sternhimmel den Hintergrund bildet, sind die Unterschiede in den Auszugslängen der photographischen Apparate nicht so gefährlich, weil sich bei der Betrachtung dieser Platten im Stereo-Komparator eine ebene Fläche vorfindet, die, nach erfolgter Einstellung der vertikal über oder unter der Mitte der Platte gelegenen Sterne auf gleiche Entfernung (vgl. die Justirvorschrift *S. 139*), nach links oder nach rechts mehr oder weniger *geneigt zur Blendenebene* erscheint, und weil die Messung hierbei darin besteht, dass man angiebt, um wieviel das zu messende Objekt aus dieser geneigten Ebene hervortritt[1]).

Wird nur *ein einziger* photographischer Apparat für die von den Endpunkten der Standlinie zu machenden Aufnahmen benutzt, wie das bei photogrammetrischen Landschaftsaufnahmen die Regel ist, so ist die Bedingung der Gleichheit der Auszugslänge ohne Weiteres erfüllt, und es ist daher die Anwendung eines und desselben Apparates für beide Aufnahmen um so mehr zu empfehlen, weil etwaige in der Zeit zwischen den beiden Aufnahmen eingetretene Unterschiede in der Beleuchtung für die stereoskopische Betrachtung nur eine nebensächliche Bedeutung und auf die Messung so gut wie gar keinen Einfluss haben.

In allen Fällen ist natürlich die *Unveränderlichkeit der Auszugslänge* Grundbedingung, und es muss daher verlangt werden, dass jedes Objektiv mit einer *feststehenden, metallischen Kamera*, mit einem *feststehenden Anlegerahmen* für die Platte und mit einem *feststehenden Strichkreuz* versehen ist. Dass auch die photographische Platte selbst durch die Abweichungen der Schichtseite von einer ebenen Fläche stereoskopische Effekte hervorrufen kann, bedarf ebenfalls nur der Erwähnung. Die Benutzung eben geschliffener Glasplatten für Messungszwecke ist natürlich das Ideal, im anderen Falle ist grösstmögliche Sorgfalt bei der *Auswahl des Plattenmaterials* erforderlich.

Der Einfluss endlich der durch das Objektiv bewirkten *Verzeichnung der Bilder* auf die gemessenen parallaktischen Differenzen und ebenso auf die daraus abgeleiteten Entfernungen (siehe weiter unten) ist praktisch gleich Null, da die zusammengehörigen

[1]) Der Stereo-Komparator bietet, wie man aus Vorstehendem sofort sieht, nebenbei ein bequemes *Hülfsmittel*, eine Prüfung der vorbezeichneten Justirung sowohl jedes einzelnen photographischen Apparates als auch des zusammengehörigen Paares vorzunehmen. Denn wenn man mit dem Apparat ein Landschaftsbild aufnimmt und dann mit demselben Apparat nach erfolgter Drehung des Apparates um die optische Achse um 180°, bezw. mit dem zweiten Apparat von demselben Standort aus in gleicher Orientirung ein zweites Bild von derselben Landschaft aufnimmt und die beiden zusammengehörigen Bilder unter dem Stereo-Komparator mit einander vergleicht, so müssen, wenn die oben stehenden Bedingungen erfüllt sind, die sämmtlichen Objekte der Landschaft ebenso wie die Sterne in genau der gleichen Entfernung gesehen werden.

Bildpunkte auf beiden Platten in Anbetracht der bei dem stereo-photogrammetrischen Verfahren in Anwendung gelangenden relativ kleinen Standlinie sehr nahe die gleiche Verzeichnung haben und für die parallaktische Differenz nur die Verzeichnungs-*Differenz* der beiderseitigen Bildpunkte, die aber vernachlässigt werden kann, in Frage kommt. Wohl aber hat die Verzeichnung des Bildes einen Einfluss auf die Ermittelung der beiden anderen Raumkoordinaten, Breite und Höhe. Sie muss daher entweder, wie es Hr. Prof. Koppe thut, umgangen werden dadurch, dass man die Platte durch das bei der Aufnahme benutzte Objektiv hindurch ausmisst, oder bekannt sein und für jeden einzelnen Bildpunkt in Anrechnung gebracht werden. Beim Stereo-Komparator ist man natürlich auf Letzteres angewiesen.

Dass auch der Stereo-Komparator zur *Untersuchung eines photographischen Objektivs auf Verzeichnung* in der Bildfeldebene mit grösstem Vortheil benutzt werden kann, werde ich noch näher darthun. Ein vollkommen verzeichnungsfreies Objektiv wäre natürlich sowohl für photogrammetrische Zwecke als auch als Reproduktionsobjektiv, z. B. für Stern- und Mondphotographien, ein erstrebenswerthes Ideal.

Einrichtung und Aufstellung der stereo-photogrammetrischen Apparate. Nebenstehend gebe ich in Fig. 8 in schematischer Darstellung die Skizze eines photogrammetrischen Apparates, mit dem, wie ich glaube, unseren Aufnahmebedingungen (*S. 179*) schnell und sicher Rechnung getragen werden kann. Der Apparat ist wie jeder andere photogrammetrische Apparat *theodolitartig* gebaut, ist also mit zwei zu einander senkrecht stehenden Drehungsachsen (A_1 und A_2 in Fig. 8) versehen, von denen die eine (A_1), nach erfolgter Horizontirung des Apparates mit Hülfe der drei Stellschrauben und der Libelle L, genau vertikal steht und eine Drehung des ganzen Obertheiles um diese Achse ermöglicht. Hierdurch und durch Drehen der photographischen Kamera um die zweite, horizontal stehende Achse A_2 ist man dann im Stande, unter Zuhülfenahme des mit dem photographischen Apparat fest verbundenen und in seiner optischen Achse diesem parallel gestellten Beobachtungsrohres F und durch Ablesen der beiden Theilkreise H und V die optische Achse des photographischen Apparates in jede verlangte Richtung einzustellen. Zugleich bleibt der der Achse A_2 parallel gestellte Horizontalstrich des unmittelbar vor der photographischen Platte P befindlichen 90°-Strichkreuzes in allen Lagen des Apparates horizontal (Plattenhorizont). Das Strichkreuz selbst wird wohl am besten, wenigstens was die Erhaltung der einmal erfolgten Justirung zur optischen Achse anbetrifft, auf der Aussenseite einer dauernd in den Apparat eingesetzten planparallelen Glasplatte angebracht, gegen welche Glasplatte dann entweder direkt oder in geringem festen Abstand die photographische Platte zu liegen kommt.

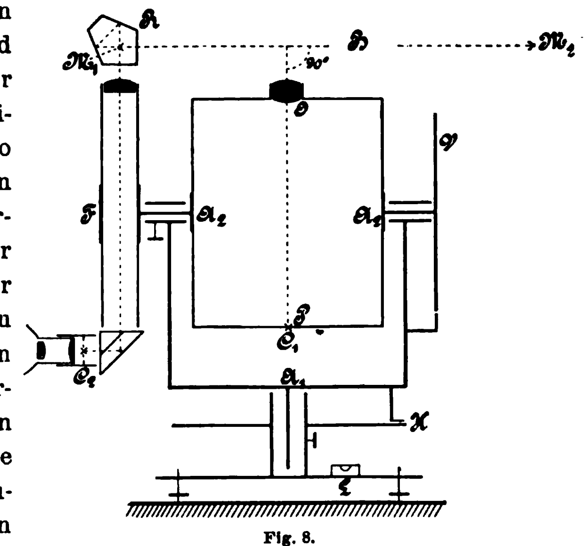


Fig. 8.

Was nun aber den in Fig. 8 skizzirten Apparat von den bisherigen photogrammetrischen Apparaten wesentlich unterscheidet, ist der Umstand, dass hier ein Verfahren, das im Wesentlichen dem beim stereoskopischen Entfernungsmesser angewandten Verfahren für die genaue Parallelstellung der beiden Fernrohrachsen

nachgebildet ist[1]), zur Anwendung gelangt, welches gestattet, die *Normalstellung der optischen Achse des photographischen Objektivs zur Standlinie in kürzester Zeit, ohne Zuhülfenahme des Horizontalkreises H und ohne Benutzung eines in der Landschaft oder am Himmel gelegenen Visirpunktes vorzunehmen.*

Das in Frage stehende Justirverfahren besteht darin, dass man vor das Fernrohrobjektiv des Beobachtungsrohres, drehbar um dessen optische Achse und leicht wegschlagbar, ein sogenanntes *Prandtl'sches Reflexionsprisma* (R in Fig. 8) *von konstanter 90°-Ablenkung* anbringt und alsdann durch die vorbezeichnete Drehung des Reflexionsprismas und durch Drehen des ganzen Apparates um die Vertikalachse A_1 das im Beobachtungsrohr beobachtete *Bild des zweiten Standpunktes* M_2 — genauer des vor dem Fernrohrobjektiv des zweiten Apparates angebrachten Reflexionsprismas — *mit dem Durchschnittspunkt* C_2 *des im Fernrohr F angebrachten Fadenkreuzes zur Deckung bringt.* Geschieht dies an beiden Apparaten bezw. mit demselben Apparat an den Endpunkten der Standlinie, wobei jedesmal der zweite Standpunkt in geeigneter Weise durch ein dort aufgestelltes Hülfsziel kenntlich gemacht wird, und ist endlich die optische Achse des photographischen Objektivs in beiden Fällen horizontal oder in beiden Fällen auf den gleichen Neigungswinkel i zur Horizontalen — Ablesung am Theilkreis V — eingestellt, welche Einstellung der oben bezeichneten Einstellung der Vertikalachse A_1 natürlich vorauszugehen hat, *so ist damit die von uns gestellte Anforderung,* dass die optischen Achsen der an den Endpunkten aufgestellten Apparate senkrecht zur Standlinie und unter sich parallel gerichtet sein sollen, *ohne Weiteres erfüllt.* Auch ist die Erfüllung dieser Bedingung ganz unabhängig davon, ob die beiden Standpunkte in gleicher Höhe oder in verschiedener Höhe gelegen sind, und innerhalb gewisser Grenzen auch unabhängig von dem willkürlich gewählten Neigungswinkel i der optischen Achse zur Horizontalen.

Die zuletzt angedeutete Einschränkung wird sofort verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der grösstmögliche Elevationswinkel i der optischen Achse, bei dem die Vertikalstellung der optischen Achse zur Standlinie noch durchführbar ist, gegeben ist in dem Komplement des Winkels λ, den die Standlinie mit der Horizontalen bildet und den man durch direktes Anvisiren des zweiten Standpunktes mit Hülfe des Fernrohres und durch Ablesen des Theilkreises V ermitteln kann. Aus diesem Grunde müssen, wenn z. B. die optischen Achsen vertikal nach oben oder — etwa von einem Luftballon aus[2]) — nach unten gerichtet sind, die beiden Standorte in gleicher Höhe sich befinden; und ebenso kommen für den Fall, dass die beiden Standpunkte vertikal oder angenähert vertikal *über* einander liegen, nur Aufnahmen mit horizontal und angenähert horizontal gestellten Achsen in Frage. Aufnahmen der letztgenannten Art (etwa unter Benutzung eines Thurmes oder eines steilen Abhanges oder eines Luftballons) beanspruchen insofern ein besonderes Interesse, weil man mit Hülfe einer solchen mehr oder weniger steilstehenden Standlinie den ganzen Horizont stereo-photogrammetrisch aufnehmen kann. Ebenso hat die Benutzung der mehr *über* als unter einander gelegenen Standpunkte Werth für die Messung gewisser dem Horizont parallel gerichteter Wolkengebilde. In allen diesen Fällen erfolgt die Orientirung der Platten auf dem Stereo-Komparator entsprechend den auf *S. 136* gemachten Angaben.

---

[1]) Ausführlich beschrieben in der Gebrauchsanweisung zu dem stereoskopischen Entfernungsmesser von $1^1/_2$ *m* Basis und 23-facher Vergrösserung.

[2]) Die photographischen Apparate hierfür entsprechend vorgerichtet und in feste Verbindung mit einander gebracht.

Durch das vorstehend beschriebene Justirverfahren ist, mit Ausnahme desjenigen Falles, dass die optischen Achsen vertikal nach oben oder vertikal nach unten gerichtet sind, die Parallelstellung der Achsen A_2 der Apparate und damit auch die Parallelstellung des Plattenhorizontes gleichzeitig erreicht. Das ist aber nicht mehr der Fall, sobald die ganze Platte horizontal liegt. Es ist daher in solchen Fällen noch eine besondere Einstellung von A_1 erforderlich. Eine solche Einstellung ergiebt sich nun ohne Weiteres dadurch, dass man mit Hülfe des horizontal gestellten Fernrohres (ohne R) und durch Drehen der Achse A_1 den zweiten Standpunkt direkt anvisirt. Die Strichkreuze sind dann nach erfolgter Vertikalstellung der Achsen auf beiden Platten nicht allein gleich gerichtet, sondern es fallen jetzt auch die beiden Vertikalstriche in eine Gerade — die Standlinie — zusammen, was wiederum für die Orientirung der Platten auf dem Stereo-Komparator zur Folge hat, dass die „Plattenvertikale“ in die Richtung der Verbindungslinie der Okulare zu bringen ist und für die Ermittelung der drei Raumkoordinaten die Standlinie mit ihrem vollen Werth in die Rechnung eintritt.

Für die *Leistungsfähigkeit des vorbezeichneten Justirverfahrens* sprechen zunächst nur die guten Erfahrungen, welche mit dem im Wesentlichen gleichen Justirverfahren bei dem stereoskopischen Entfernungsmesser von $1^1/_2$ *m* Basis gemacht worden sind. Auf die praktischen Resultate der Methode werde ich mir später erlauben, nach Ausführung der erforderlichen Instrumente, zurückzukommen.

Zum Schluss dieser Betrachtungen möchte ich aber noch auf eine andere vortheilhafte Seite des angegebenen Justirverfahrens aufmerksam machen, da es sich hierbei um die Möglichkeit handelt, die zur Justirung der Platten auf dem Stereo-Komparator und zur Messung der parallaktischen Differenzen erforderlichen *Fixpunkte* in der Landschaft (vgl. die Angaben *S. 140*) mehr oder weniger *überflüssig* zu machen. Ich muss mich natürlich auch hier darauf beschränken, den Gesichtspunkt, auf den es ankommt, kurz darzulegen, indem ich mir nähere Mittheilungen über die praktische Erprobung des Verfahrens auch nach dieser Seite hin für später vorbehalte.

Der angegebene Zweck ist durch die Art der Justirung der beiden Apparate eigentlich schon erreicht. Denn wenn die beiden Achsen der photographischen Objektive unter sich parallel und senkrecht zu der Standlinie gerichtet sind, so ist der Durchschnittspunkt des Strichkreuzes auf beiden Platten als der Bildpunkt eines und desselben *unendlich fernen* Objektes zu betrachten, und ebenso kann das ganze Strichkreuz als das *Bild eines im Unendlichen gelegenen Strichkreuzes* angesehen werden (man betrachte Fig. 6 unter einem Stereoskop). Damit sind dann aber, und zwar mehr als ausreichend, die Unterlagen für die Justirung der Platten auf dem Stereo-Komparator und für deren Ausmessung gegeben, und man hat nur den jedesmal senkrecht zur Verbindungslinie der Okulare stehenden Strich in seiner ganzen Länge auf genau die gleiche scheinbare Entfernung einzustellen und von hier aus die parallaktischen Differenzen der übrigen Bildpunkte wie von ihrem Nullpunkte aus zu zählen.

Ob hierbei die Fixpunkte in der Landschaft für die Zwecke der Justirung und der Messung ganz entbehrt werden können, mag die Zukunft lehren; für die nachträgliche *Kontrole* der im Augenblick der Aufnahme vorhandenen richtigen Justirung der photographischen Apparate werden sie unter allen Umständen von grösster Bedeutung sein und bleiben.

Bestimmung der Lage eines Punktes im Objektraum auf Grund stereo-photogrammetrischer Messungen. In umstehender Fig. 9 bedeuten M_1 und M_2 die Mitten der photographischen Objektive, $O_1 M_1$ und $O_2 M_2$ die einander parallel gestellten und senkrecht zur

Standlinie B gerichteten optischen Achsen. Wir verstehen ferner unter P_1 und P_2 die parallel zur Standlinie und senkrecht zu OM gelegenen photographischen Platten, auf denen der sog. Plattenhorizont O_1X bezw. O_2X entsprechend unseren Festsetzungen und unbeschadet des Höhenunterschiedes von M_1 und M_2 stets horizontal gelegen ist. In beiden Stationen bilde die optische Achse mit der Horizontalen den Winkel i. Endlich sei S das zu messende Objekt, seine Entfernung von M_1 und M_2 betrage E_1 und E_2. Die Bildpunkte von S auf den Platten P_1 und P_2 seien p_1 und p_2.

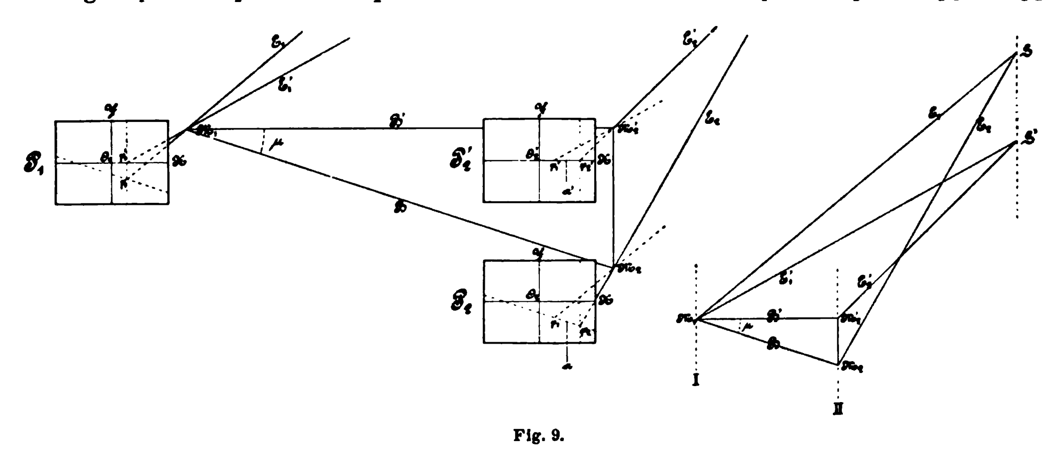


Fig. 9.

Der zuerst sich darbietende Weg, zu einer Kenntniss der Lage des Punktes S zu gelangen, ist der, dass man das Plattenpaar nach Fig. 6 (*S. 135*) orientirt und die parallaktische Differenz $a = p_1 p_2$ bestimmt, dann die Koordinaten der Bildpunkte p_1 und p_2 in Bezug auf das Plattenstrichkreuz ermittelt und aus B, a und den Abständen der Bildpunkte p_1 von M_1 bezw. p_2 von M_2 mittels einer Formel, auf die wir hier nicht näher eingehen wollen, die sich aber leicht aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $p_1 p_2 M_2$ und $M_1 M_2 S$ ableitet, die gesuchten Entfernungen E_1 und E_2 berechnet.

Wir denken uns durch die Punkte M_1, M_2 und S je eine Senkrechte zu der durch die optische Achse $O_1 M_1$ und den Plattenhorizont $O_1 X$ gelegten Ebene gezogen. Es ist dann ersichtlich, dass sich das Bild der durch S gezogenen Senkrechten, wo auch die Standpunkte bei sonst gleicher Orientirung der Platten auf den zugehörigen beiden Geraden gelegen sein mögen, auf beiden Platten als eine durch p_1 bezw. p_2 parallel zu OY gezogene Gerade wiederfindet, deren Abstand von O_1 bezw. O_2 somit immer der gleiche bleibt. Orientiren wir demnach die beiden Platten P_1 und P_2 entsprechend den der Fig. 7 (*S. 136*) zu Grunde liegenden Anforderungen auf dem Stereo-Komparator so, dass die Verbindungslinie der Okulare dem Plattenhorizont parallel zu liegen kommt, wobei, wie wir früher ausführten, die vorhandene Höhendifferenz der Bildpunkte p_1 und p_2 jedesmal durch eine Verschiebung der Platte P_2 in vertikaler Richtung zum Verschwinden gebracht wird, so gelangt der vorbezeichnete Abstand der beiden Geraden ($a' = p_1' p_2'$) als parallaktische Differenz stereoskopisch zur Messung, und wir können dann aus a', der Projektion B' der Standlinie auf den Plattenhorizont und aus den Abständen $p_1' M_1$ und $p_2' M_2'$ die Projektionen E_1' und E_2' der Entfernungen E_1 und E_2 auf die Projektionsebene $M_1 O_1 X$ sofort angeben, *ganz unbekümmert darum, wo die beiden Standpunkte M_1 und M_2 und wo der Objektpunkt S auf ihren zugehörigen Geraden gelegen sind.* Das Resultat ist in Allem genau so, wie wenn wir bei der Aufnahme das Objektiv M_2 und die Platte P_2 in der Richtung OY so weit verschoben hätten, dass M_2 nach M_2' und P_2 nach P_2'

zu liegen kommen, und wir hätten statt des Punktes S den in der Projektionsebene gelegenen Fusspunkt von S, S', aufgenommen.

Wählen wir als Projektionsebene für M_1, M_2 und S die durch die optische Achse und die Platten-*Vertikale* OY gelegte Ebene und orientiren das Plattenpaar auf dem Stereo-Komparator nach den *S. 136* gemachten Angaben, so ist das Resultat im Wesentlichen das gleiche.

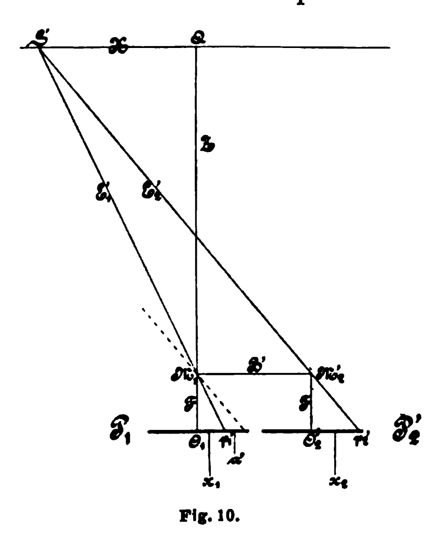


Fig. 10.

Wir wollen auch hier auf die bezüglichen Formeln zur Berechnung von E_1' und E_2' bezw. E_1'' und E_2'' nicht näher eingehen, da, wie wir gleich sehen werden, die ganze Sache sich noch viel *einfacher* und für die Folge nutzbringender gestaltet. Denken wir uns nämlich durch den Punkt S parallel zur Plattenebene eine *Ebene* gelegt, so geht diese Ebene sowohl durch S' als auch durch S'' und es ist der *Vertikalabstand* ($M_1 Q = Z$, siehe Fig. 10) dieser Ebene von den beiden Aufnahmestationen, den wir nunmehr, entsprechend dem von Hrn. Prof. C. Koppe in seiner „Photogrammetrie" angewandten Verfahren, in die Rechnung einführen, gleich der Projektion der sämmtlichen vorgenannten Strecken E_1, E_2, E_1', E_2', E_1'' und E_2'' auf die optische Achse.

Das, was die vorgenannte Ebene für uns so besonders wichtig macht, ist der Umstand, dass die parallaktische Differenz a bezw. die in Frage kommenden Projektionen a' und a'' dieser Differenz *für alle auf den Platten P_1 und P_2 gelegene Bildpunkte dieser Ebene genau den gleichen Werth erhalten*, was sofort ersichtlich ist, wenn man sich vergegenwärtigt, dass wir (siehe Fig. 9 und 10) wegen

$$\Delta\, p_1 p_2 M_2 \sim \Delta\, M_1 M_2 S \quad \text{und} \quad \Delta\, p_1 O_1 M_1 \sim \Delta\, M_1 S Q$$

setzen können

$$a : B = p_1 M_1 : E_1 = F : Z,$$

und wegen

$$\Delta\, p_1' p_2' M_2' \sim \Delta\, M_1 M_2' S' \quad \text{und} \quad \Delta\, p_1' O_1 M_1 \sim \Delta\, M_1 S' Q,$$

$$a' : B' = p_1' M_1 : E_1' = F : Z.$$

Die Bestimmung der parallaktischen Differenz a bezw. der in Frage stehenden Projektionen a' und a'' für einen beliebig gelegenen Objektpunkt S ist daher gleichbedeutend mit der Bestimmung der parallaktischen Differenz für den Durchschnittspunkt Q der durch S parallel zu den Platten gelegten Ebene mit der optischen Achse, und wir erhalten, je nach der Art der Orientirung der Platten, den Abstand $M_1 Q = Z$ zu

$$Z = \frac{F}{a} B = \frac{F}{a'} B' = \frac{F}{a''} B'' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{I)}$$

ganz unabhängig davon, wo die beiden Standpunkte auf den Senkrechten zur Projektionsebene gelegen sind und an welcher Stelle der Objektebene die Bestimmung der Parallaxe erfolgt ist.

Dem Vorstehenden entsprechend machen wir nunmehr M_1 *zum Anfang eines rechtwinkeligen Koordinatensystems*, nehmen die Parallele zu $O_1 X$ zur X-Achse, die Parallele zu $O_1 Y$ zur Y-Achse und die optische Achse $M_1 Q$ zur Z-Achse. Von den gesuchten drei Raumkoordinaten X, Y und Z des Punktes S ist somit Z schon durch die Gleichung I) gegeben. Für die beiden anderen Koordinaten erhalten wir dann, unter x_1 und y_1 die Bildpunkt-Koordinaten der Platte P_1 verstanden, die Werthe

$$X = \frac{x_1}{F} Z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{II)} \qquad \text{und} \qquad Y = \frac{y_1}{F} Z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{III)}$$

welche drei Ausdrücke sich übersichtlicher auch so schreiben lassen:

$$\left.\begin{array}{l} X = x_1 \\ Y = y_1 \\ Z = F \end{array}\right\} \times \frac{B'}{a'} \quad \text{bezw.} \quad \times \frac{B''}{a''}.$$

Damit ist unsere Aufgabe schon gelöst. Will man ausserdem noch die direkten Entfernungen des Punktes S bezw. des Projektionspunktes S' von M_1 und M_2 wissen, so kann man, wie oben angedeutet, verfahren oder einfacher noch sie aus den durch X, Y und Z gegebenen rechtwinkeligen Dreiecken im Objektraum berechnen.

Diskussion des vorstehend bezeichneten Verfahrens. Für die Ermittelung der drei Raumkoordinaten des Punktes S ist, wenn wir von den durch die Versuchsanordnung gegebenen Grössen F und B' (bezw. B'') zunächst absehen, *die Bestimmung von nur drei Grössen* erforderlich, welche sind: die beiden Koordinaten x_1 und y_1 des Bildpunktes p_1 auf der Platte P_1 und die stereoskopisch gemessene Projektion $a' = x_2 - x_1$ (bezw. $a'' = y_2 - y_1$) der parallaktischen Differenz. Ebenso ist die Ermittelung dieser drei Grössen bei der getroffenen Einrichtung des Stereo-Komparators *mit der denkbar geringsten Zahl der Operationen, Einstellungen und Ablesungen verbunden.* Denn die Platte P_1 bleibt während des ganzen Messverfahrens nach einmal erfolgter Justirung in unveränderter Lage zum Hauptschlitten; es braucht daher die Lage des Nullpunktes O_1 auf den beiden Maassstäben A und B (Fig. 1), von wo aus die Koordinaten x_1 und y_1 zu zählen sind, nur ein einziges Mal ermittelt zu werden, und wir benöthigen somit für die Ermittelung von x_1 und y_1 der einzelnen Bildpunkte immer nur eine einzige Einstellung — monokular, die des Bildpunktes auf die im linken Okular angebrachte Marke[1]) — und die dieser Einstellung des Hauptschlittens entsprechende Ablesung der beiden Maassstäbe A und B. Um die Koordinaten der auf der Platte P_2 befindlichen Bildpunkte hat man sich bei dem ganzen Messverfahren *überhaupt nicht zu kümmern.* Daher ist es für uns auch ganz nebensächlich, dass sich die Lage der Platte P_2 zu den Maassstäben A und B in Folge der immer wieder von Neuem vorgenommenen Einstellung der Platte P_2 in der Höhe und zur Seite beständig ändert. In der That liegt die Bedeutung der Platte P_2 für unser ganzes Messverfahren ausschliesslich darin, dass sie uns die stereoskopische Betrachtung des Plattenpaares und die Messung der parallaktischen Differenz ermöglicht.

Nun noch einige Worte über die *Bestimmung von* $B' = B \cos\mu$ *und* $B'' = B \sin\mu$. Der Winkel μ, welchen die Standlinie B mit dem Plattenhorizont OX macht, kann im Allgemeinen nicht direkt gemessen werden. Wohl aber erhalten wir aus dem Elevationswinkel i der optischen Achse und dem Elevationswinkel λ der Standlinie mit dem Horizont auf Grund einer einfachen Ueberlegung die in Frage stehenden Projektionen der Standlinie zu

$$B' = \frac{B}{\cos i} \sqrt{\cos^2 i - \sin^2 \lambda} \qquad \text{und} \qquad B'' = \frac{B}{\cos i} \sin \lambda.$$

Die Standlinie B selbst endlich wird vortheilhaft mit Hülfe des *stereoskopischen Entfernungsmessers* gemessen und zwar wird sich hierfür bei kleineren Standlinien der mit einer Skale von 20 *m* bis 500 *m* ausgerüstete Entfernungsmesser 4-fach, für grössere Standlinien der mit einer Skale von 90 *m* bis 3000 *m* ausgerüstete Entfernungsmesser 8-fach eignen. Näheres über diese Instrumente besagen die bezüglichen Prospekte der

[1]) Am Vortheilhaftesten *nach* erfolgter Parallaxenbestimmung.

Firma Zeiss. Auch für die Zwecke einer vorläufigen Orientirung in der Landschaft bei photogrammetrischen Aufnahmen dürfte ein solcher Entfernungsmesser von Werth sein.

Anfertigung von Plänen und Modellen. Die bei einem zwischen 0° und 90° gelegenen Elevationswinkel i der optischen Achse erhaltenen Raumkoordinaten X, Y und Z der einzelnen Objekte werden, ehe man sie zu einem Plan oder einem Modell verarbeitet, in die Koordinaten eines Systems mit einer *vertikal stehenden Achse* übergeführt. Da die X-Achse in allen Fällen horizontal gelegen ist, so kommen hierfür nur zwei Systeme in Betracht, das eine mit vertikalstehender Y-Achse und das andere mit vertikal stehender Z-Achse. Die Ueberführung selbst geschieht durch Drehen des Systems um die X-Achse und nach bekannten Formeln. Der Drehungswinkel ist in dem einen Fall i, in dem anderen $90^0 - i$.

Im ersten Falle erscheinen dann die neuen Koordinaten, wie folgt: die Z-Koordinaten als Horizontalabstand der durch S gelegten Vertikalebene von M_1 (siehe Fig. 11), die X-Koordinate als Seitenabweichung von der optischen Achse und die Y-Koordinate als Höhe über M_1. Im zweiten Falle erscheint die Z-Koordinate als Vertikalabstand von M_1 und die beiden anderen Koordinaten als Seitenabweichungen in der Horizontalebene.

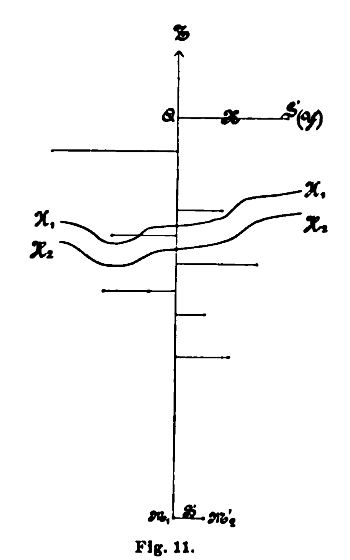


Fig. 11.

In beiden Fällen kann die Erhebung der Punkte S über eine bestimmte horizontale Projektionsebene durch Einstecken von Stäbchen von bestimmter Länge in den Plan markirt werden, wodurch dann die festen Anhaltspunkte für die bereits an früherer Stelle (*S. 68*) angedeutete, auf Grund der unmittelbaren Anschauung zu bewirkende Ausarbeitung des Modells gegeben sind.

Horizontalkurven und Profile. Ist die Elevation der optischen Achsen von vornherein bei der Aufnahme gleich 0° oder gleich 90°, so können wir noch ein Uebriges thun.

Betrachten wir zunächst den Fall $i = 0$ (Platten vertikal). In diesem Falle haben die sämmtlichen Objekte der auf $O_1 X$ gelegenen Bildpunkte der Platte P_1, wie verschieden auch ihre Horizontalentfernung sein mag, gleiche Höhe (H_1) mit M_1. Indem wir also für die auf dieser Geraden liegenden Bildpunkte die Werthe für Z und X bestimmen und in unseren Plan (Fig. 11) einzeichnen, erhalten wir in der Verbindungslinie dieser Punkte eine *Höhenkurve*, und zwar diejenige für H_1. In derselben Weise lässt sich noch eine zweite Höhenkurve in den Plan einzeichnen. Denn der auf der zweiten Platte P_2 befindliche Horizontalstrich bezeichnet alle diejenigen Objekte, welche mit M_2 in gleicher Höhe (H_2) sich befinden. Die beiden Höhenkurven haben alsdann eine Höhendifferenz im Betrage von $B \cdot \sin(\mu = \lambda)$.

Der Umstand, dass wir mit einem Plattenpaar gleich zwei Horizontalkurven erhalten können, begründet einen besonderen *Vorzug* der Stereoaufnahmen von zwei in verschiedenen Höhen gelegenen Standpunkten aus vor den Stereoaufnahmen mit horizontal gestellter Standlinie. Auch lässt sich dieses Verfahren durch passenden Anschluss *mehrerer*, in verschiedenen Höhen gelegener Aufnahme-Stationen an M_1 noch weiter ausbilden und dadurch die Zahl der Horizontalkurven in Fig. 11 nach Belieben vermehren.

In genau der gleichen Weise, durch Ermittelung der Werthe für Z und Y längs der beiden Plattenvertikalen $O_1\,Y$ und $O_2\,Y$, gewinnen wir — ebenfalls für den Fall

$i = 0$ — das Abbild von zwei im Abstand von $B \cdot \cos \lambda$ nebeneinander durch die Landschaft gelegten *Profilen*. In Fig. 12 ist nur die eine der beiden Kurven (V_1) gezeichnet.

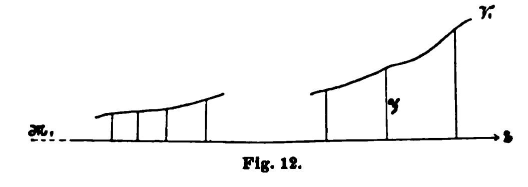


Fig. 12.

Was endlich den Fall $i = 90^0$ anbetrifft (die Platten horizontal, die optische Achse vertikal nach oben oder nach unten gerichtet), so können wir sowohl den beiden Strichen auf der Platte nachfolgen, als auch jeder anderen durch O_1 gelegten Geraden, und erhalten dann aus den den Bildpunkten dieser Geraden zugehörigen Werthen für Z und X (bezw. Y) eine *Reihe von Profilen durch* M_1, bezw. durch M_2.

Weitere Nutzanwendungen. Von dem oben angegebenen photogrammetrischen Satz, dass alle in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse gelegenen Objekte die *gleiche* parallaktische Differenz besitzen (siehe *S. 185*), können wir für die hier vorliegenden Aufgaben eine äusserst nützliche Anwendung machen. Denn dieser Satz lautet auf den Stereo-Komparator angewandt so, dass, wenn man die wandernde Marke im Stereo-Komparator mit *einem* Punkte einer senkrecht zur optischen Achse gelegten Objektebene in die gleiche scheinbare Entfernung bringt, *dann auch jeder andere Punkt dieser Ebene in derselben scheinbaren Entfernung gesehen werden muss.* Wir können daher auch *umgekehrt vorgehen, d. h. die Marke (bezw. die Platte) auf eine bestimmte Entfernung einstellen und dann* durch Verschieben des Hauptschlittens in den beiden zu einander senkrechten Richtungen *alle diejenigen Objektpunkte in dem Landschaftsbild aufsuchen, welche mit der Marke in der gleichen Entfernung gesehen werden.* Die Lage dieser Punkte kann dann entweder an den beiden Hauptmaassstäben A und B abgelesen oder mit Hülfe eines Zeichenapparates — bestehend aus einem mit dem Hauptschlitten verbundenen Zeichenbrett und einem in fester Lage darüber stehenden Zeichenstift — automatisch aufgezeichnet werden, und wir erhalten dann in der die Punkte verbindenden Kurve in gleicher Orientirung und in der gleichen Grösse wie das auf P_1 befindliche Landschaftsbild ein Abbild der Schnittlinie, welche die in dem betreffenden Abstande von M_1 parallel zur Plattenebene durch die Landschaft gelegte Ebene mit der Oberfläche der auf den Platten abgebildeten Objekte macht. Das Verfahren hat natürlich nur dann ein praktisches Interesse, wenn die Achsen horizontal ($i = 0$) oder vertikal ($i = 90^0$) gerichtet sind. In dem einen Falle ist die genannte Kurve nichts anderes als das Abbild eines im Abstand Z gelegten Profilschnitts, im anderen Falle das Abbild einer Höhenkurve.

Das vorgenannte Verfahren können wir nun aber beliebig oft anwenden, indem wir die Marke nach einander auf verschiedene Entfernungen einstellen und für jede dieser Entfernungen die Punktkurven gleicher Entfernung aufsuchen und aufzeichnen[1]). Wir würden damit eine *Reihe von Profilen* ($i = 0^0$, Fig. 13) bezw. von Höhenkurven ($i = 90^0$, Fig. 14) erhalten, die unter sich natürlich nicht im richtigen Grössenverhältniss zu einander stehen, die sich aber leicht mit Hülfe eines geeigneten Pantographen mit verstellbarem Uebersetzungsverhältniss in wirkliche Profile umzeichnen lassen, wobei

[1]) In dieser Weise habe ich mit einer an dem Versuchsinstrument (Fig. 1) nachträglich angebrachten Zeichenvorrichtung eine Reihe von solchen Schnittkurven in eine mir vor Kurzem von Hrn. Schüttauf zur Verfügung gestellte *Telestereoskop-Aufnahme des Matterhorns* aus dem Jahre 1896 — Standlinie etwa 60 *m* — eingezeichnet, auf deren Wiedergabe ich aber verzichte, da sich die Aufnahmebedingungen jetzt nicht mehr genau feststellen lassen. Der Anblick selbst, den man bei der Betrachtung dieses Bildes unter dem Stereoskop erhält, und der das Matterhorn einem Tafelaufsatz vergleichbar macht, ist von ganz hervorragender Schönheit.

noch zu erwägen sein wird, ob man nicht zweckmässig die hierfür bestimmte Einrichtung direkt mit dem Stereo-Komparator verbindet, was ich aber jetzt noch nicht zu entscheiden wage. In Fig. 13 sind links die der Zeichnung entnommenen (schematischen) Kurven gleicher Entfernung, rechts das Abbild der Parallelprojektion der in den Entfernungen 1 : 2 : 3 gelegenen Profilschnitte eingetragen. Fig. 15 endlich veranschaulicht, ebenfalls schematisch, ein aus Papiersilhouetten der Kurven H_1, V_1 und drei Profilen zusammengeklebtes Modell.

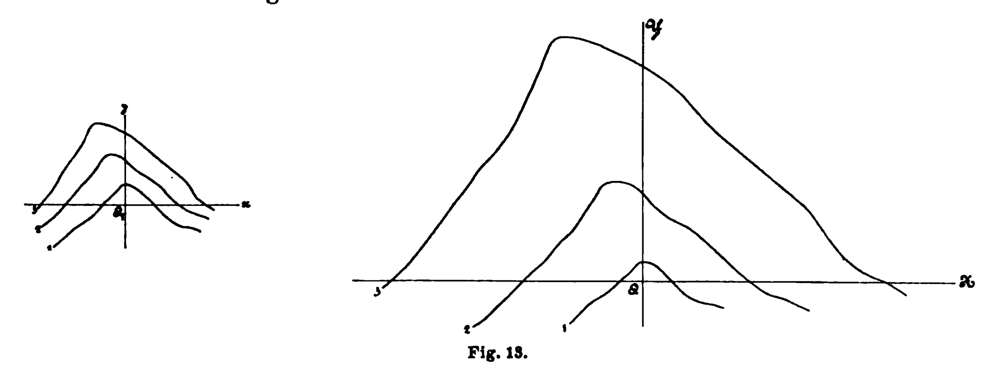


Fig. 13.

Aus besonderem Interesse verdient noch hervorgehoben zu werden, dass man nach dem der Fig. 14 zu Grunde liegenden Verfahren ($i = 90^0$) — die Aufnahmen aus möglichst grosser Höhe und mit möglichst grosser Standlinie vom Luftballon aus vorausgesetzt — nicht allein die Krümmung der Erdoberfläche direkt erweisen, sondern auch *den Krümmungsradius der Erde,* in analoger Weise wie den Krümmungsradius einer Linse durch sphärometrische Messung, ermitteln kann. Ueber derartige am *Monde* vorgenommene Messungen wird in dem nachfolgenden Abschnitt noch näher berichtet werden.

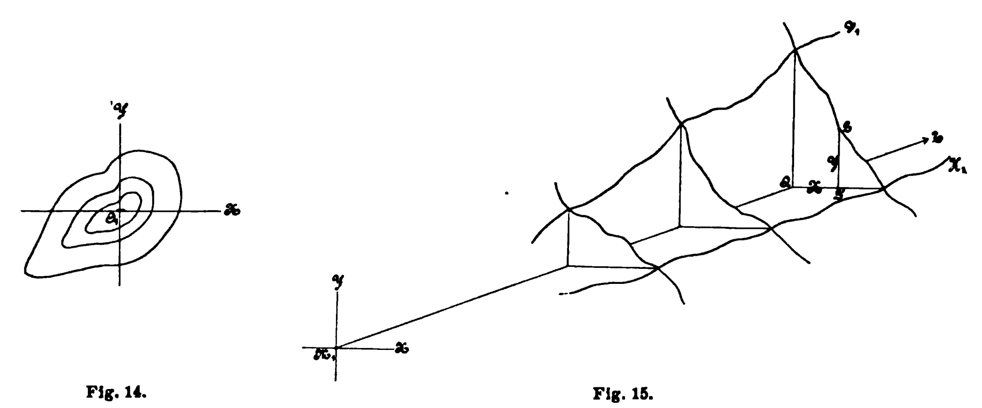


Fig. 14. Fig. 15.

Fehlerrechnung und Dimensionsmessungen an entfernten Körpern. Für die Fehlerrechnung haben wir in erster Linie zu berücksichtigen, mit welcher Genauigkeit die drei Grössen a (die äussere Unterscheidung zwischen a und a', ebenso zwischen B und B' lassen wir jetzt fallen), x_1 und y_1 gemessen werden. Für a hatten wir die Grenze auf 0,01 *mm* festgesetzt (vgl. *S. 141*), für x_1 und y_1 ist dieselbe durch die Ablesegenauigkeit der beiden Nonien der Maassstäbe A und B auf 0,1 *mm* bemessen. Bezeichnen wir der Reihe nach diese Werthe mit da, dx_1 und dy_1, so erhalten wir als Fehlergrenzen die Werthe

$$dZ = -\frac{FB}{a^2}\,da = \frac{Z^2}{BF}\,da, \qquad dX = \frac{dx_1}{F}\,Z \qquad \text{und} \qquad dY = \frac{dy_1}{F}\,Z.$$

In derselben Weise lassen sich auch die Dimensionen entfernter Körper in Bezug auf das oben angegebene Koordinatensystem angeben, sofern wir unter da, dx_1 und dy_1 die bezüglichen Ablesungen am Stereo-Komparator verstehen.

Die Formel für dZ, die uns hier in erster Linie interessirt, lässt sich, wie ich zuerst in meinem Vortrag über den Entfernungsmesser gethan habe, auf eine übersichtlichere und für Ueberschlags-Rechnungen besonders geeignete Form bringen, wenn wir diejenige Grösse R einführen, die ich *„Radius des stereoskopischen Feldes“* genannt und definirt habe als die Entfernung desjenigen Objektes, welches sich „eben noch“ stereoskopisch von der dahinter liegenden Unendlichkeitsfläche abhebt, und in dem die von den Endpunkten der Basis B gezogenen Geraden unter einem Winkel von δ / V zusammentreffen, unter δ den oben (*S. 141*) bezeichneten Grenzwinkel der Tiefenunterscheidung (1') im freien Sehen und unter V die Fernrohrvergrösserung verstanden. Da wir, ebenfalls nach *S. 141*, den Quotienten δ / V ersetzen können durch da / F, wo $da = 0{,}01$ *mm* ist, so erhalten wir zunächst für den Radius des stereoskopischen Feldes den Werth

$$R = \frac{V}{\delta} \cdot B = \frac{F}{da} \cdot B = 100 F \cdot B$$

und für den einer bestimmten Entfernung Z zukommenden Fehler dZ den Werth

$$dZ = \frac{Z^2}{R},$$

oder als Proportion geschrieben

$$dZ : Z = Z : R.$$

Die Benutzung dieser Formel ist auch insofern angenehm, weil man mit ihrer Hülfe jederzeit schnell im Kopf ausrechnen kann, welche Basis B — bei gegebener Brennweite F — genommen werden muss, wenn man ein in einer bestimmten Entfernung Z befindliches Objekt mit einer bestimmten Genauigkeit dZ messen will. Um z. B. die Höhe einer leuchtenden Nachtwolke (etwa 80 *km*) auf ± 1 *km* genau zu bestimmen, würden wir zu setzen haben $R = 6400$ *km* und $B = 6400\ km / 100\ F = 356\ m$ für eine Brennweite von 180 *mm*.

In der nachstehenden Tabelle endlich sind einige numerische Daten übersichtlich zusammengestellt, die sich für eine Brennweite $F = 180$ *mm* ergeben, nämlich: die den Standlinien B und den Entfernungen E zugehörigen parallaktischen Differenzen a, die bezüglichen Radien des stereoskopischen Feldes R und endlich das, was wir *„totale Plastik“* nennen, das ist das Vielfache der im *freien* Sehen gegebenen natürlichen Plastik, oder durch eine Formel ausgedrückt $= V \cdot B / A$, unter A den mittleren Augenabstand (65 *mm*) verstanden. Die Tabelle ist in Sonderheit auch für das Verhalten des Vordergrundes bei telestereoskopischen Aufnahmen von Interesse.

Schlussbemerkungen. Aus den schon früher angegebenen Gründen bin ich zur Zeit noch ausser Stande, einen experimentellen Beitrag zu den vorstehend skizzirten Grundzügen der Stereo-Photogrammetrie zu leisten. Wohl habe ich das Verfahren, soweit mir dies zur Zeit möglich war, an zahlreichen Platten aus dem photographischen Atelier der Firma Zeiss und an den bereits oben erwähnten photogrammetrischen Aufnahmen des Herrn Oberst von Hübl praktisch erprobt. Auch hat ein anderer Hauptvertreter der Photogrammetrie, Hr. Prof. C. Koppe, dem ich vor Kurzem die Ehre hatte, den Apparat und seine Wirkungsweise hier in Jena persönlich vorzuführen, mir zu Versuchen photogrammetrische Aufnahmen von der *Jungfrau* zur Verfügung gestellt, Aufnahmen, die wegen der mehr als 1000 *m* langen Standlinie bei einer Entfernung von 3 bis 4 *km*, zwar einen etwas übertriebenen stereoskopischen Effekt ergeben, aber einen wundervollen Einblick in die Gebirgsformationen gewähren.

Für definitive Messungen waren aber alle diese Platten nicht zu verwenden, weil sie den von uns gestellten Aufnahmebedingungen — die optischen Achsen unter sich parallel und senkrecht zur Standlinie — nicht entsprechen

Entfernung E ($=Z$) in *km*	Parallaktische Differenz $a = \frac{B}{E} \cdot F$ in *mm* für $F = 180$ *mm* und $\delta = 1'$.			
—				$<$ 0,01
2000			$<$ 0,01	0,02
1000			0,01	0,04
500			0,03	0,07
200		$<$ 0,01	0,06	0,18
100		0,02	0,13	0,36
80		0,02	0,16	0,45
60	$<$ 0,01	0,03	0,21	0,60
40	0,01	0,05	0,31	0,90
20	0,03	0,09	0,63	1,80
10	0,05	0,18	1,26	3,60
8	0,07	0,22	1,58	4,50
6	0,09	0,30	2,10	6,00
4	0,13	0,45	3,15	9,00
2	0,27	0,90	6,30	18,00
1	0,54	1,80	12,60	36,00
0,8	0,66	2,25	15,75	45,00
0,6	0,90	3,00	21,00	60,00
0,4	1,35	4,50	31,50	
0,2	2,70	9,00	63,00	
0,1	5,40	18,00		
Standlinie B in *m*	3	10	70	200
Radius R des stereoskopischen Feldes in *km*	54	180	1260	3600
Totale Plastik	280	925	6500	18 500

Die Bedeutung dieser unserer Aufnahmebedingungen für die Zwecke der Stereo-Photogrammetrie lässt sich vielleicht durch nichts besser dokumentiren, als dadurch, dass wir die *Modifikationen* zu ermitteln suchen, welche die parallel zur Plattenebene durch den Objektraum gelegte *Ebene gleicher Parallaxe bezw. gleicher scheinbarer Entfernung* (vgl. oben *S. 188*) unter dem Einfluss der Abänderung unserer Aufnahmebedingungen erleidet. Die vollständige Lösung dieser Aufgabe ist eine Sache für sich und würde mich hier zu weit ab führen. Ich beschränke mich daher auf die nachstehenden Bemerkungen.

Das, was uns bei diesen Betrachtungen sofort entgegentritt, ist der Umstand, dass, welcher Art auch die Aenderung der Aufnahmebedingungen sein mag, die Fläche gleicher scheinbarer Entfernung *aufhört*, eine *ebene* Fläche zu sein. Betrachten wir zunächst den einfachen Fall, wie er bei photogrammetrischen Arbeiten häufig vorkommt, dass nämlich die optischen Achsen zwar zu einander parallel gerichtet sind, aber auf der Standlinie nicht mehr senkrecht stehen. Verschieben wir also in unseren obigen Fig. 9 und 10 den einen der beiden photographischen Apparate, etwa M_2 (und P_2), in der Richtung der optischen Achse vorwärts oder rückwärts, so lässt sich auf Grund einer einfachen geometrischen Konstruktion sofort zeigen, dass sich die in Frage stehende ebene Fläche in einen *geraden Zylinder* verwandelt, dessen

Achse je nach der Art der Orientirung des Plattenpaares auf dem Stereo-Komparator entweder der Plattenvertikale oder dem Plattenhorizont parallel gerichtet ist, dessen Mantelfläche durch die beiden Aufnahmestationen (M_1 und M_2) und den Schnittpunkt (Q_2) der optischen Achse des verschobenen Apparates mit der Objektebene, von der wir ausgegangen sind, hindurchgeht, und dessen Querschnitt eine *Parabel* darstellt, deren Achse durch die Mitte der Strecke $M_2 Q_2$ hindurchgeht und der Plattenebene parallel gerichtet ist.

Ebenso erhalten wir in einem anderen Falle, der uns im Folgenden bei der Besprechung der Messungen am Monde noch näher beschäftigen wird, und in welchem wir uns die Stellung der photographischen Apparate zu einander durch Drehen des einen Apparates aus seiner Anfangslage um die Plattenvertikale oder um den Plattenhorizont um einen bestimmten Winkel herbeigeführt denken, als Fläche gleicher scheinbarer Entfernung einen *geraden Zylinder mit elliptischem Querschnitt*, dessen Mantelfläche ebenfalls durch die beiden Aufnahmestationen M_1 und M_2 hindurchgeht.

Werden die vorbezeichneten Aenderungen unserer Aufnahmebedingungen gleichzeitig vorgenommen, so behält auch dann noch die Fläche die Form eines geraden Zylinders bei. Sobald dann aber noch eine weitere Drehung des Aufnahmeapparates ($M_2 P_2$) um eine zweite Achse hinzutritt, nimmt die Fläche eine von einem Zylinder abweichende Form an, deren Definition sich wesentlich schwieriger gestaltet, als in den vorerwähnten relativ einfachen Fällen.

Der Hinweis auf die vorstehend angegebenen, in grösster Mannigfaltigkeit den Objektraum durchschneidenden Flächen gleicher Parallaxe, deren Bedeutung nicht allein darin besteht, dass sie die Punkte gleicher scheinbarer Entfernung in sich aufnehmen, sondern auch als Trennungsflächen zwischen den davor- und dahinterliegenden Objekten anzusehen sind, dürfte genügen, um zu zeigen, dass mit Hülfe dieser Flächen nicht im Entferntesten eine ebenso übersichtliche Definition der Lage eines Punktes im Objektraum bewerkstelligt werden kann (vgl. die obigen diesbezüglichen Ausführungen, *S. 178*), wie dies bei dem unseren Betrachtungen von Anfang an zu Grunde gelegten Spezialfall — Achsen parallel und senkrecht zur Standlinie — möglich ist.

(Fortsetzung folgt.)

Ueber ein Flüssigkeitsthermometer für sehr tiefe Temperaturen.

Von
Rudolf Rothe.
(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bei ihren im Jahre 1896 im Linde'schen Laboratorium angestellten Versuchen fanden die Hrn. Kohlrausch[1]), Holborn und Wien[2]), dass die unter dem Namen Petroläther bekannten Gemische von Kohlenwasserstoffen theilweise die Eigenschaft besitzen, auch in der tiefen Temperatur der siedenden Luft noch wesentlich im flüssigen Aggregatzustande zu verbleiben. Das mit einem geeignet fraktionirten, wohl getrockneten Petroläther gefüllte Thermometer gestattet bei sinngemässem Gebrauch und vorsichtiger Behandlung, die Temperatur siedender Luft auf etwa $^1/_2{}^0$ sicher zu bestimmen[3]), zeigt aber bei längerem Verweilen (etwa über $^1/_4$ Stunde) in der tiefen Temperatur Unregelmässigkeiten in der Kuppenbildung und Trübungen

[1]) F. Kohlrausch, *Wied. Ann.* **60.** *S. 463. 1897.*
[2]) L. Holborn u. W. Wien, *Wied. Ann.* **59.** *S. 213. 1896.*
[3]) L. Holborn, *diese Zeitschr.* **20.** *S. 144. 1900; Ann. d. Physik* **6.** *S. 242. 1901.*

in der Kapillare[1]). Neuerdings hat Hr. Baudin[2]) angegeben, dass er Petrolätbersäulen auch in flüssiger Luft durchsichtig und beweglich erhalten habe. Zahlenmässige Angaben über die Zeit des Eintauchens werden aber nicht mitgetheilt.

Es wird daher von Interesse sein, eine einheitlichere Flüssigkeit von bequem liegendem Siedepunkt kennen zu lernen, welche in tiefen Temperaturen die letzterwähnten störenden Eigenschaften nicht besitzt und die deswegen auch für thermometrische Zwecke zu brauchen sein wird.

Ursprünglich in der Absicht, für einen Thermostaten für tiefe Temperaturen[3]) eine geeignetere Badflüssigkeit aufzufinden, als es der käufliche Petroläther ist, wurde eine Reihe von Kohlenwasserstoffen auf ihr Verhalten in tiefen Temperaturen, insbesondere auf ihren Erstarrungspunkt untersucht, welche Hr. Dr. F. Bannow von der Firma C. A. F. Kahlbaum in Berlin in entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt hatte. Unter diesen befand sich auch das „*technische Pentan*", eine vermuthlich einige Prozente ungesättigter Kohlenwasserstoffe enthaltende, in der Hauptsache aber wohl ziemlich einheitliche Flüssigkeit.

Einige Vorversuche in einem mit etwa 5 *ccm* der Flüssigkeit gefüllten Glasrohr, welches, von einem zweiten konzentrischen umgeben, in die flüssige Luft getaucht wurde, zeigten, dass das technische Pentan selbst nach längerem Verweilen in der tiefen Temperatur nicht erstarrte, sondern flüssig blieb (wenn es auch in ähnlicher Weise wie der Petroläther zähe wird), sowie — was wesentlich ist — dass sich keinerlei Trübungen oder feste Ausscheidungen bemerkbar machten.

Ein mit der käuflichen Flüssigkeit gefülltes Probethermometer erwies sich selbst nach dreistündigem, nicht unterbrochenen Verweilen in siedender Luft als einwandsfrei hinsichtlich der Kuppenbildung und der Klarheit der Thermometerflüssigkeit, während ein gleichzeitig eintauchendes Petrolätherthermometer sich an der Oberfläche allmählich trübte und mit der Zeit eine verzerrte Kuppe zeigte, von der sich bei weiterem Abkühlen sogar die Flüssigkeitssäule abtrennen konnte.

Um einen ungefähren Anhalt der Wärmeausdehnung des technischen Pentans zu erhalten, wurde ein mit Quecksilber ausgewogenes und kalibrirtes Dilatometer aus Glas 59^{III} gefüllt und bei der Temperatur des schmelzenden Eises, der festen Kohlensäure und der siedenden Luft die Einstellung der Flüssigkeitskuppe an der in Millimeter getheilten Röhre abgelesen. Die lichte Weite der Kapillare betrug etwa 1 *mm*. Die Temperaturbestimmung an den beiden Punkten geschah durch eine Anzahl Thermoelemente aus Eisen-Konstantan und Kupfer-Konstantan, deren Thermokräfte früher ermittelt worden waren[4]).

Es ergaben sich folgende Werthe, von denen jeder einzelne das Mittel mehrerer Ablesungen ist.

I. In siedender Luft.

Nr.	Temperatur Grad C.	Dilatometer *mm*
1	— 187,21	— 164,45
2	— 186,90	— 164,15
3	— 186,22	— 163,58
Mittel:	— 186,78°	— 164,06

II. In Alkohol und fester Kohlensäure.

Nr.	Temperatur Grad C.	Dilatometer *mm*
4	— 79,81	— 78,86
5	— 79,49	— 78,49
6	— 79,47	— 78,42
Mittel:	— 79,59°	— 78,59

[1]) L. Holborn, *a. a. O. S. 257.*

[2]) L. Baudin, *Compt. rend.* **133.** *S. 1207. 1901;* Referat in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 91. 1902.*

[3]) R. Rothe, *diese Zeitschr.* **22.** *S. 20. 1902.*

[4]) Vgl. R. Rothe, *a. a. O. S. 39.*

III. In schmelzendem Eis.

Vor der Beob. Nr. 1:	— 0,06 *mm*
Nach der Beob. Nr. 6:	— 0,05 „ .

Es sei hierzu bemerkt, dass nach jeder Beobachtung der Stand des Dilatometers durch Erwärmen oder Abkühlen willkürlich verändert wurde, um systematische Fehler in der Einstellung zu vermeiden. Die Beobachtungen zeigen, dass die Einstellung des Dilatometers, das stets „mit ganz eintauchendem Faden“ abgelesen wurde, innerhalb der Beobachtungsfehler den Aenderungen der Temperatur genau folgt, sowie dass eine Veränderung des Nullpunkts nach mehrstündiger Abkühlung nicht eingetreten ist.

Nimmt man an, dass das Verhältniss der scheinbaren Volumina bei t^0 C. und bei 0° C. der Formel

$$\frac{V_t}{V_0} = 1 + \alpha t + \beta t^2$$

genügt, so berechnen sich die Koeffizienten aus den obigen Beobachtungen und aus den Konstanten des Dilatometers zu

$$\alpha = +1{,}39 \cdot 10^{-3} \qquad \beta = +1{,}33 \cdot 10^{-6}.$$

Durch Vergleich mit den Angaben für einen bei 20° siedenden Petroläther[1]), für den

$$\alpha = +1{,}46 \cdot 10^{-3} \qquad \beta = +1{,}60 \cdot 10^{-6}$$

ist, zeigt sich also, dass das untersuchte technische Pentan eine ähnliche Ausdehnung besitzt wie der Petroläther.

Uebrigens siedet nach einem angestellten Versuche die Flüssigkeit zwischen 25° und 33° über.

Um die Brauchbarkeit des technischen Pentans als Thermometerflüssigkeit weiter zu prüfen, wurden Stabröhren verschiedener Weite zur Anfertigung einiger Thermometer[2]) verwendet. Die Röhren waren, wie es bei der Herstellung der Petrolätherthermometer sich als nützlich erwiesen hatte, vor der Füllung evakuirt; diese geschah *mit der käuflichen Flüssigkeit ohne besondere Vorsichtsmaassregeln hinsichtlich der Trockenhaltung derselben und ohne dass sie noch einmal destillirt worden war.* Beim Zuschmelzen wurden die Thermometer theils in Eis, theilweise in feste Kohlensäure gebracht, ohne dass ein Unterschied der so auf verschiedene Weise hergestellten Thermometer sich bemerkbar machte. Soweit die bisherigen Versuche es erkennen lassen, zeigte das technische Pentan auch in einer ziemlich engen Kapillare keine Unregelmässigkeit in der Kuppenbildung oder Trübungen und Ausscheidungen in der Kapillare. Da aber die Flüssigkeit in der tiefen Temperatur in ähnlicher Weise wie der Petroläther zähe wird, hat der Gebrauch der Thermometer in tiefer Temperatur, wie bei allen mit benetzender Flüssigkeit gefüllten Thermometern, in der Weise zu geschehen, dass die Abkühlung sich erst auf das Gefäss, dann auf die Kapillare erstreckt und hinreichend langsam erfolgt.

Das *reine* Pentan erwies sich (in Uebereinstimmung mit früheren Beobachtungen in der Abth. I der Reichsanstalt), ebenso wie das von andrer Seite empfohlene Isoamylen (Pental) als unbrauchbar, das erstere, weil es feste, undurchsichtige Konglomerate abscheidet und nach längerem Verweilen in flüssiger Luft zu einer weissen Masse erstarrt, das Pental, weil es schon oberhalb des Siedepunkts der flüssigen Luft glasartig fest wird. Versuche, aus Mischungen reinen Pentans und Amylens eine brauchbare Flüssigkeit herzustellen, haben noch keinen Erfolg gehabt.

[1]) L. Holborn, *a. a. O. S. 256.*

[2]) Die Herstellung dieser Thermometer geschah durch Hrn. C. Richter in Berlin.

Der Vortheil des technischen Pentans beim Gebrauch als Thermometerflüssigkeit bis zur Temperatur der siedenden Luft scheint darin zu liegen, dass sich keine festen Ausscheidungen oder Trübungen zeigen, dass in Folge des höher gelegenen Siedepunkts seine Aufbewahrung ohne Schwierigkeiten geschehen kann, sowie dass das käufliche, in grossen Mengen herstellbare Produkt ohne Weiteres verwendet werden kann.

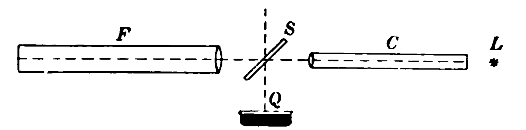
Charlottenburg, den 14. Mai 1902.

Referate.

Apparat zur Messung der Veränderungen geringer Zenithdistanzen.

Von G. Lippmann. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 205. 1902.*

Der Apparat, der hauptsächlich zur Beobachtung der Veränderlichkeit der Polhöhen dienen soll, besteht aus einem im Meridian aufgestellten Kollimator C, hinter welchem eine Lichtquelle L angebracht ist, einem Fernrohr F, einem schwach versilberten Spiegel S und einem Gefäss mit Quecksilber Q (vgl. die Figur). In der Brennebene des Kollimators befindet sich eine auf einem versilberten Glasplättchen eingeritzte Marke, z. B. ein Punkt oder besser noch ein horizontaler Strich. Diese Marke bildet sich in der Brennebene des Fernrohres F ab, wobei die Lichtstrahlen allerdings durch den Silberbelag des Spiegels S eine Schwächung erfahren. Andererntheils werden die aus dem Kollimator austretenden Lichtstrahlen durch den Spiegel S nach Q und von da wieder zurück reflektirt, sodass von der Marke in der Brennebene f ein Bild entsteht, welches je nach Stellung des Kollimators und des Spiegels mit der Marke selbst zusammenfällt oder neben sie auf den Silberbelag des Glasplättchens zu liegen kommt. Im Fernrohr F wird man daher entweder ein einziges Bild oder zwei Bilder der Marke erblicken. Dieses Bild oder im anderen Fall die Mitte der beiden Bilder liegt, wie sich leicht zeigen lässt, genau an der Stelle, wohin durch den Spiegel der Zenithpunkt des Himmels reflektirt wird. Das Mittel aus den Abständen eines Sternes von den beiden im Fernrohr F sichtbaren horizontalen Linien ist demnach gleich der Zenithdistanz des Sternes.



Die beiden Ebenen des Spiegels S sollten einander genau parallel sein. Im Falle, dass sie es nicht sind, wird man bei genügend heller Beleuchtung im Gesichtsfeld des Fernrohres neben dem Hauptbild der Kollimatormarke noch eine Reihe äquidistanter schwacher Bilder derselben sehen, welche in Folge der Reflexion der Lichtstrahlen im Innern des Spiegels an seinen beiden Flächen entstanden sind. Der Abstand zweier solcher Bilder giebt an, um wieviel das Hauptbild der Kollimatormarke von der Stelle, nach welcher der Zenithpunkt reflektirt wird, abweicht.

Auch zum Photographiren, hebt Verf. hervor, lasse sich der Apparat leicht einrichten. Man gebe zu dem Zweck dem Fernrohr eine parallaktische Montirung, sodass der Stern bei der Bewegung des Rohres sich als Punkt auf der photographischen Platte abbildet, die punktförmige Kollimatormarke dagegen einen Strich auf derselben zurücklässt. Die Polarachse des Instrumentes muss hierbei, was Verf. jedoch nicht erwähnt, nach dem Spiegelbild des Poles gerichtet sein. Selbst für die Polhöhe von Paris, $48^{0}\,50'$, für welche die Richtung nach dem Pol also nur $3^{0}\,50'$ vom Einfallsloth auf dem Spiegel abweicht, würde, wenn die Rotationsachse des Instrumentes direkt nach dem Pol und nicht nach dem Spiegelbild gerichtet wäre und die Aufnahme während des Meridiandurchgangs nur bis zum Stundenwinkel 1^{m} geschähe, das Sternbildchen doch bis zu $0{,}23''$ nach Norden verschoben werden, d. h. um die Amplitude der ganzen Polhöhenschwankung.

Einen Apparat von ganz der gleichen Einrichtung hatte übrigens der Astronom Fabry in Marseille im *Bulletin Astronomique* ***12.*** *S. 48. 1895* vorgeschlagen, worauf Verf. erst nach Veröffentlichung seines Artikels aufmerksam gemacht wurde. *Kn.*

Apparat zur Messung von astronomischen Längendifferenzen mittels der Photographie.

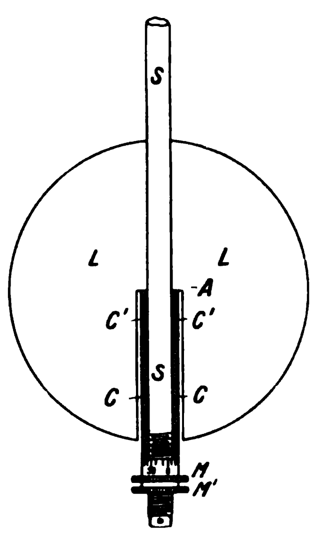
Von G. Lippmann. *Compt. rend.* **134.** *S. 387. 1902.*

Verf. benutzt den im vorigen Referat beschriebenen Apparat. Das Fernrohr wird parallaktisch bewegt, wobei die Rotationsachse, wie oben schon erwähnt, nach dem Spiegelbild des Poles gerichtet sein muss. Zwischen der Lichtquelle und der punktförmigen Kollimatormarke befindet sich ein Schirm, welcher nur in gewissen Zeitintervallen durch Schluss eines elektrischen Stromkreises auf einen Moment zur Seite bewegt wird, sodass sich auf der Platte an der dem Zenith entsprechenden Stelle die punktförmige Marke abbildet. Die Koordinaten dieses Punktes kann man ebenso wie die jedes Sternes auf der Platte ausmessen, seine Rektaszension folglich bestimmen. Ist nun auf jeder der beiden Stationen, deren Längendifferenz gesucht wird, ein solcher Apparat vorhanden und finden die Stromschlüsse an beiden Stationen in denselben Momenten statt, was einfach dadurch erreicht wird, dass beide Stationen in denselben Stromkreis gelegt werden, so erhält man den Längenunterschied gleich der Differenz der Rektaszensionen je zweier gleichzeitig auf beiden Stationen photographirten Zenithpunkte. Damit der Spiegel nicht in Folge von Temperaturverschiedenheit der nach dem Himmel und der nach dem Fussboden gerichteten Fläche sich krümme, schlägt der Verf. vor, seine untere Fläche mittels eines anderen Spiegels nach einem kälteren Körper strahlen zu lassen. Bevor man solche Feinheiten ins Auge fasst, dürften jedoch nach Ansicht des Referenten erst viele andere und wichtigere Dinge zu erledigen sein. *Kn.*

Nickelstahl-Kompensationspendel[1]).

Von S. Riefler. *gr. 8°. 12 S. m. 15 Fig. München 1902.*

Der Verfasser, Theilhaber der Firma Clemens Riefler in Nesselwang und München, hat seit drei Jahren umfangreiche Versuche über die Verwendung des Nickelstahls für Uhrpendel gemacht. Die vom Hüttenwerke kommenden Stäbe werden einem mehrere Wochen dauernden Temperprozesse unterworfen, bei dem sie in einem eigens hierfür hergestellten Ofen von 180° an unter häufigen Erschütterungen bis zur gewöhnlichen Temperatur abgekühlt werden. Stäbe eines Blockes zeigen eine bessere Uebereinstimmung der Ausdehnungskoeffizienten, als die aus verschiedenen Blöcken. Im Ganzen kamen Schwankungen bis zu 100 % vor; es wurde deshalb nöthig, Kompensationsvorrichtungen vorzusehen. Der unterste Theil des 14 *mm* dicken Stabes S (vgl. die Figur) hat ein Schraubengewinde; auf dieses werden die Muttern M' und M geschraubt, deren letztere zwei Metallröhren C und C' (die untere aus Stahl, die obere aus Messing) übereinander in einer Gesammtlänge von 10 *cm* trägt; ihr Längenverhältniss wird dem Ausdehnungskoeffizienten des Pendelstabes angepasst. Ein einzelnes Kompensationsrohr genügte nicht für alle Fälle. Das obere Kompensationsrohr trägt den messingnen Linsenkörper L und zwar unterstützt es ihn genau in der Mitte bei A. Der mittlere Kompensationsfehler dieser erstklassigen Pendel beträgt ± 0,005 Sek. pro Grad C. und Tag. Das Gewicht eines Pendels ist 7,4 *kg*, der Preis 200 M. Die Prüfung der Koeffizienten geschieht seit einem Jahre durch Hrn. Dr. Guillaume in Sèvres.



Dasselbe Prinzip ist auch bei billigeren Sekundenuhren und für kleinere Gewichtsregulatoren verwendet worden. Der billigere Preis ist dadurch erreicht worden, dass nur 10 *mm* dicke Stäbe und gusseiserne Linsen statt der messingnen genommen wurden; ferner wurde für die Stäbe eines Blockes ein durchschnittlicher Ausdehnungskoeffizient durch

[1]) D.R.P. Nr. 100 870.

Stichproben bestimmt, während früher jeder einzelne Stab untersucht wurde. Die grösste erfahrungsgemäss vorkommende Abweichung bei einem Stabe gegen das Mittel ergab einen Kompensationsfehler von ± 0,02 Sek. pro Grad und Tag. Der Preis eines solchen billigen Sekundenpendels beträgt noch nicht den dritten Theil des Preises eines Pendels der zuerst beschriebenen Sorte; es werden ausser den Sekundenpendeln noch 80- und 90-Schläger, sowie Halbsekundenpendel hergestellt.

Einige Verbesserungen in der Konstruktion, Aufhängung und Behandlung der Uhren werden an der Hand mehrerer Skizzen erläutert. *Sn.*

Herstellung und Konstanthalten tiefer Temperaturen.

Von A. d'Arsonval. *Compt. rend.* **133.** *S. 980. 1901.*

Im Anschluss an die Mittheilungen Moissan's (*Compt. rend.* **133.** *S. 768. 1901;* vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 359. 1901*) theilt der Verfasser einige Erfahrungen auf dem Gebiete der Herstellung konstanter tiefer Temperaturen mit.

Mit Hülfe fester Kohlensäure und Azeton gelingt es, Temperaturen bis zu — 115° zu erreichen, wenn das letztere vorher hinreichend abgekühlt war und durch die Mischung ein kalter Luftstrom geschickt wird. Die Herstellung desselben geschieht durch eine Art Gegenstromapparat, welcher aus zwei konzentrischen Zinnröhren von 10 *mm* und 5 *mm* Durchmesser und 6 bis 10 *m* Länge besteht. Die äussere Röhre wird durch eine Wollumwickelung gegen Wärmezufuhr von aussen geschützt. Luft von Zimmertemperatur wird durch die innere Röhre in die abzukühlende Mischung geschickt, durchstreicht diese und gelangt nun in abgekühltem Zustand in den Raum zwischen beiden Zinnröhren, von wo aus sie die im inneren Rohr enthaltene Luft vorkühlt; man braucht also für sie keine besonderen Abkühlungsmittel.

Festes Azetylen ist nach Mittheilung des Verf. ebenso brauchbar wie Kohlensäure. Sein Sublimationspunkt liegt bei — 85°.

Endlich wird noch eine Vorrichtung beschrieben, um mit Hülfe der flüssigen Luft und eines Bades von Petroläther beliebige konstante Temperaturen unter 0° zu erhalten: In die Badflüssigkeit, die sich in einem Vakuumgefäss befindet, taucht ein kleines ringförmiges Gefäss, in welches man die zur Abkühlung dienende flüssige Luft tropfenweise fallen lässt. Zu diesem Zweck ist das die flüssige Luft enthaltende Gefäss mit einer Art Syphon-Verschluss versehen, mittels dessen die flüssige Luft durch den Druck ihrer Dämpfe, der durch einen nach aussen führenden Schlauch mit einem Quetschhahn gedrosselt werden kann, in ein senkrecht über dem erwähnten Metallgefäss endendes Rohr getrieben wird. Durch Verstellung der Drosselung kann der tropfenweise Ausfluss regulirt werden.

Nach Ansicht des Ref. erfüllt die zuletzt beschriebene Vorrichtung zwar den Zweck, eine Temperaturerniedrigung des Bades herbeizuführen, kann aber zur Regulirung der Temperatur des Bades nur dann ausreichen, wenn an die Temperaturkonstanz desselben keine grossen Anforderungen gestellt werden; denn wegen des Verdampfens der flüssigen Luft im Ausflussrohr und der häufig eintretenden theilweisen Verstopfung seiner Oeffnung durch Eisbildungen aus der Feuchtigkeit der Atmosphäre pflegt ein Herabtropfen nur unregelmässig und stossweise zu erfolgen.

Ob ferner die Tropfvorrichtung ökonomisch im Verbrauch der flüssigen Luft ist, wird man aus den angeführten Gründen ebenfalls bezweifeln dürfen. *Rt.*

Ueber Galvanometer von grosser Empfindlichkeit.

Von C. E. Mendenhall und C. W. Waidner. *Amer. Journ. of Science* **12.** *S. 249. 1901.*

Das Galvanometer, mit dem Mendenhall und Waidner arbeiten, ist im Wesentlichen ein gewöhnliches Thomson'sches Galvanometer mit vier Spulen. Jede Spule hat eine Justirvorrichtung um eine horizontale und eine vertikale Achse. Die Stützen der Spulen sind so gestellt, dass man zwischen den Spulen hindurchsehen und das Magnetsystem beobachten kann. Zwei Richtmagnete, die oberhalb des Galvanometers angeordnet sind, können

vom Platz des Beobachters aus vertikal verschoben oder gedreht werden. Die Abmessungen des ganzen Galvanometers sind kleiner als die der gewöhnlichen Typen.

Es wurden besondere Versuche über die Magnetsysteme angestellt. Ist M die Summe der magnetischen Momente der oberen und der unteren Magnetgruppe, K das Trägheitsmoment, so ist für eine gegebene Schwingungsdauer des Systems die Empfindlichkeit proportional M/K. Es wird sich also darum handeln, das magnetische Moment möglichst gross und das Trägheitsmoment möglichst klein zu machen. Die zu untersuchenden Magnetnadeln wurden möglichst in der gleichen Weise auf einem Messingscheibchen befestigt, dessen Trägheitsmoment gemessen wurde und gegen das Trägheitsmoment der Magnetnadeln sehr gross war. Die Magnetisirung der Nadeln, deren Abmessungen genau festgestellt waren, erfolgte in dem gleichförmigen Feld eines kleinen Elektromagneten. Das Messingscheibchen mit der Nadel wurde an einem Kokonfaden im luftleeren Raum aufgehängt und dann die Schwingungsdauer des Systems bestimmt. Daraus ist dann das magnetische Moment der Nadeln berechenbar. Die Versuche ergaben, dass die kleinen Magnete schon durch verhältnissmässig schwache Felder (1000 *C. G. S.*-Einheiten) bis zur Sättigung magnetisirt werden. Durch Versuche an gleichartigen Magneten von verschiedener Länge wurde festgestellt, dass das magnetische Moment nicht proportional der Länge der Nadeln ist, sondern rascher mit der Länge abnimmt. Weiter ergab sich durch Versuche an Nadeln von gleicher Länge und verschiedenem Querschnitt, dass die Magnetisirung von dünnen Nadeln grösser ist als die von dicken. Es ist daher vortheilhafter, mehrere dünne Nadeln zu nehmen, als eine dickere, deren Querschnitt gleich der Summe der Querschnitte der dünnen Nadeln ist. Dieser Satz bleibt bestehen, obwohl sich viele dicht nebeneinander angeordnete Nadeln gegenseitig schwächen.

Paschen hatte als erste Annäherung angenommen, dass das magnetische Moment einer Nadel der Länge proportional ist; da man das Trägheitsmoment der Nadel der dritten Potenz der Länge proportional setzen kann, so wird bei gegebener Schwingungsdauer die Empfindlichkeit umgekehrt proportional dem Quadrat der Nadellänge wachsen. Für sehr kurze Nadeln aber hört die Gültigkeit dieses Satzes auf, weil, wie oben bemerkt, das magnetische Moment nicht mehr der Länge der Nadel proportional gesetzt werden darf und andererseits das Trägheitsmoment der übrigen Theile des beweglichen Systems gross wird gegenüber dem der Nadel. Verkürzt man also die Nadel weiter und weiter, so wird man zu einem Punkt der maximalen Empfindlichkeit kommen. Die Verfasser stellen diesen Punkt in einem speziellen Fall fest.

Das System, welches sie wirklich in ihrem Galvanometer benutzt haben, bestand aus je 3 Nadeln in jeder Gruppe von 1,15 *mm* Länge. Die Nadeln wogen 0,68 *mg*, das gesammte bewegliche System 1 *mg*. Die 4 Spulen hatten einen äusseren Durchmesser von 15 *mm*, einen inneren von 2 *mm*. In Parallelschaltung hatten die Spulen 3 Ohm Widerstand. In dieser Schaltung wurde bei 9 Sek. Schwingungsdauer und 2000 *mm* Skalenabstand 1 Skalentheil Ausschlag durch $5{,}6 \cdot 10^{-11}$ Amp. hervorgebracht. *E. O.*

Neue Theodolite mit kleinen Schätzmikroskopen (Schnellmess-Theodolite).

Von O. Fennel Söhne. *Nach einem Prospekt und einem Modell.*

Die Fennel'sche Werkstatt für geodätische Instrumente in Cassel hat den Ablesemitteln an Kreistheilungen eine weitere sehr einfache Vorrichtung hinzugefügt in Form eines Mikroskops mit festem Faden[1]). Mit Hülfe dieses festen Indexstrichs wird an der durch das Mikroskop vergrösserten Theilung abgelesen. Man kann also hier in der That von einem Schätzmikroskop sprechen, während bei dem meist ebenso genannten Hensoldt'schen Skalenmikroskop zunächst nicht die Schätzung des kleinsten ablesbaren Theils, sondern die im Fokus des Mikroskops angebrachte *Skale* von 10 Theilen, deren Gesammtlänge gleich 1 Theil der Limbustheilung ist, die Hauptsache vorstellt und deshalb der Name Skalen-

[1]) Die Anordnung ist durch D.R.P. Nr. 131212 geschützt.

mikroskop angezeigt ist. Die Fennel'sche Ablesung ist überall dort mit Vortheil zu gebrauchen, wo an *kleinen* Kreisen *rasch* auf 1' abgelesen werden soll; die Ablesung ist wegen des Mikroskops viel schärfer als durch einen einfachen Indexstrich an der nicht oder nur durch eine Lupe 2- bis 3-mal vergrösserten Theilung, sie ist auf der andern Seite *viel schneller* zu machen als mit Hülfe eines Nonius. Da ferner jeder Grad voll beziffert ist und im Mikroskopgesichtsfeld stets zwei Gradzahlen sichtbar werden, so sind Ableseversehen seltener als bei andern Ablesevorrichtungen.

Die nebenstehende Fig. 1 zeigt z. B. die Anordnung der Ablesung für den Horizontalkreis eines kleinen, nämlich nur 10 *cm*-Theodolits. Die Theilung ist auf $^1/_6{}^0$ getrieben, also sehr fein (Theilstriche $^1/_7$ *mm* von einander entfernt), und deshalb vor Beschädigung durch

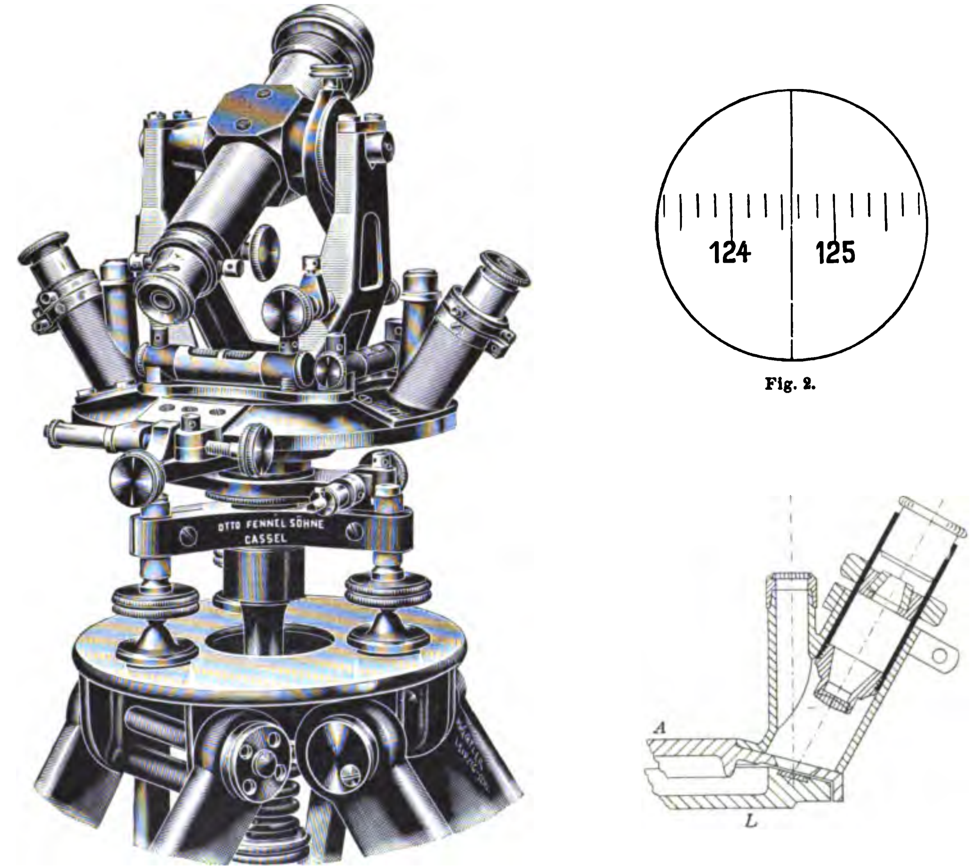


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

völlige Verdeckung geschützt; jeder Grad ist beziffert. Der Anblick im Mikroskop ist z. B. der der Fig. 2; ein einziger Blick giebt sofort die Ablesung 124° 36'. Den Achsschnitt des Mikroskops und Beleuchtungsstutzens (s. u.) zeigt Fig. 3, die auch die Art der Verdeckung des Limbus *L* durch die übergreifende Alhidade *A* erkennen lässt.

Sehr bemerkenswerth ist noch, dass, wie Fig. 1 zeigt, an den Ablesemikroskopen des Horizontalkreises stets für *dieselbe* Beleuchtung gesorgt ist, sodass das Drehen der Mikroskopröhren vor der Ablesung wegfällt; es ist nämlich der Mikroskopröhre ein kurzer vertikaler Rohrstutzen (Beleuchtungsröhrchen) beigefügt, der der Ablesestelle stets zenithales Licht zuführt. Die Mikroskopbilder werden damit sehr hell und scharf. Die am Fernrohrträger befestigten Mikroskope zur Ablesung eines Höhenkreises bedürfen selbstverständlich einer solchen Vorrichtung nicht.

Die Verfertiger wenden ihre neue Einrichtung zur raschen Ablesung auf 1' an Theodoliten mit 10 und mit 13 *cm* Theilkreisdurchmesser an.

Zu erwähnen ist noch, dass die neue Vorrichtung einer Anregung von Prof. Dr. Reinhertz zu verdanken ist; er wollte die Ablesung an Tachymeterhöhenkreisen auf 1' ohne Nonius, die bekanntlich Jordan durch Vergrösserung des Durchmessers des Höhenkreises auf 25 und 27 *cm* erreicht hat (vgl. *Zeitschr. f. Vermess.* ***25.*** *S. 14. 1896;* ***28.*** *S. 50. 1899*) auch für die kleinen Kreisdurchmesser der gewöhnlichen leichten und kompendiösen Tachymetertheodolite erreichen durch Mikroskope mit einem Indexstrich („Strichmikroskope") und auf Grund dieses Programms hat Fennel die hier angezeigte Vorrichtung konstruirt. Vgl. auch die Mittheilung von Prof. Dr. Reinhertz in der *Zeitschr. f. Vermess.* ***31.*** *S. 213. 1902* und die sich anschliessende von Fennel (*Ebenda S. 214*). In der ersten Mittheilung macht Reinhertz aus seinen Versuchsmessungen die Genauigkeitsangabe: m. F. einer einmal gemessenen Richtung am Theodolit mit 13 *cm*-Kreis (Richtung in beiden Fernrohrlagen eingestellt und an zwei Strichmikroskopen abgelesen) ± 12''.

Hammer.

Neu erschienene Bücher.

W. M. Gillespie, *Treatise on Surveying, comprising theory and practice.* Erweitert durch C. Staley. I. Bd. VII, 428 u. 127 S., II. Bd. 467 S. London, Hirschfeld Bros. 1901. Geb. in Leinw. 28 M.

Gillespie's *Land Surveying* aus den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hat in den Vereinigten Staaten grosse Verbreitung gefunden, ebenso der ihm 1870 folgende Band *Higher Surveying*, den Staley beendigt hatte. Die später vereinigten Bände erscheinen hier, durch denselben Bearbeiter erneuert, wieder getrennt.

Der I. Band giebt, sehr elementar gehalten und ganz auf amerikanische Verhältnisse zugeschnitten, hauptsächlich Anleitung zur Feldmessung; es spielt z. B. die Absteckung von Meridian- und Parallelkreisstücken bei diesen *public-land surveys* bekanntlich eine grosse Rolle. Deshalb werden auch u. A. der Burt'sche *Solar Compass* und das *Solar Attachment* am Transit, beide bei uns wenig gekannt, ausführlich besprochen, da man mit ihrer Hülfe „am einfachsten" die Nordsüdlinie abstecken könne. Die Nivelliraufgaben des I. Bandes beschränken sich auf das Einfachste; immerhin seien manche Instrumententypen, z. B. das binokulare *Handlevel* von Gurley, der Beachtung empfohlen. Die Tafelsammlung im Anhang umfasst *Traverse Tables* mit dem Intervall 15' im Richtungswinkel bis 45°, auf die 3. Dezimale gehend, in den Entfernungen aber nur von 1 bis 9, sodass die Zusammensetzung mühsam ist; eine 4-stellige Sehnentafel mit dem Intervall 1' bis 90°; 6-stellige Zahlen- und goniometrische Logarithmen; 5-stellige natürliche sin und cos, tg und ctg mit dem Intervall 1'; endlich eine Tachymetertafel mit dem Intervall 1' bis zum Höhenwinkel 20°, aber wieder nur für 1 bis 9 der Grundzahl, sodass die Zusammensetzung zu mühsam ist (vgl. auch die Rechnung im Beispiel *S. 239*; daselbst u. A. Rechnung mit 4 Dezimalen gegen den Schluss, während bei den ersten Zahlen nur die 1. Dezimale angesetzt ist).

Der II. Band, höhere Vermessungen, ist ausserordentlich umfassend: Haupttriangulirung (Messung nebst allen Berechnungen, z. B. geographischer Koordinaten und Azimute auf dem Ellipsoid und einschl. Kartenprojektionen), Feldastronomie, trigonometrische Höhenmessung, Feinnivellirung, barometrische Höhenmessung (mit den für Amerika selbstverständlichen Guyot'schen Tafeln), Topographie, See- und hydrographische Messungen, Markscheidekunde und Stadtvermessungen werden auf diesen 467 Seiten gelehrt. Die Aufzählung zeigt, dass dabei nur ein Ueberblick möglich ist, der das Eingehen auf Einzelheiten hier um so überflüssiger macht, als in den wichtigsten Theilen des Buchs nur die von der *Coast and Geodetic Survey* und andern Vermessungsbehörden der Union her bekannten Instrumente, Messungs- und Rechnungsmethoden vorgeführt werden.

Hammer.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied,
Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Juli 1902.** Siebentes Heft.

Krystallpolymeter nach C. Klein.

Von
C. Leiss.

(Mittheilung aus der R. Fuess'schen Werkstätte in Steglitz bei Berlin.)

Das auf Anregung des Hrn. Geh. Berg-Rath Prof. Dr. C. Klein[1]) konstruirte Instrument lässt sich für folgende krystallographisch-optische Arbeiten verwenden:

1. Zu *Krystallwinkelmessungen* und zwar
   a) mit einem Kreis nach Malus-Babinet;
   b) mit zwei Kreisen nach Art der Instrumente von v. Fedorow und Goldschmidt;
   c) mit drei Kreisen nach dem Vorgange von Smith (vgl. G. F. H. Smith, *Mineralogical Magazine* **12.** *S. 175. 1899*; *Zeitschr. f. Krystallogr. u. Miner.* **32.** *S. 209. 1900;* Referat in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 239. 1901*).
2. Zur *Bestimmung der Brechungsexponenten* und zwar
   a) von festen und flüssigen Körpern mittels der Methode der prismatischen Ablenkung;
   b) von Krystallen mittels der Methode der Totalreflexion nach Kohlrausch.
3. Zur *Untersuchung von Krystallen* in Medien gleicher Brechbarkeit und zwar
   a) zur Bestimmung der Achsenlage und zur Messung des Achsenwinkels an Platten, ganzen Krystallen und Bruchstücken;
   b) zur Fixirung der Lage der Auslöschungsschiefen auf den Flächen einer Zone.

I. Beschreibung und Gebrauch des Instrumentes in seiner Zusammenstellung als ein-, zwei- und dreikreisiges Goniometer (Fig. 1).

Die Haupttheile wie die Trägerarme der Kreis- und Achsensysteme, Klemmen u. s. w. des Instrumentes sind durchgängig aus Magnalium gefertigt. Neben der ganz beträchtlichen Verringerung des Gesammtgewichtes war es nur durch Anwendung dieses Metalles möglich, den konstruktiven Aufbau so kompendiös zu gestalten, wie es bei dem Instrument in der That der Fall ist.

In dem Mitteltheil eines Ringdreifusses ist eine Achse gelagert, um welche das gesammte Instrument beim Anfassen des Trägerarmes D gedreht und mittels der Schraube d geklemmt werden kann. Diese Drehung dient dem Beobachter dazu, sich jeden Theil des Instrumentes, wie Kreise, Beobachtungsrohre, Schrauben, Triebbewegungen u. s. w., während der Arbeiten zugänglich zu machen, ohne seinen Beobachtungssitz ändern zu müssen. Auf D ist eine nach oben sich verjüngende konische Achse befestigt, um welche sich der Trägerarm E drehen lässt. Mit E ist einestheils

[1]) Vgl. C. Klein, *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1900. S. 248.*

fest verbunden die Alhidade (Nonienkreis) des mittels der Griffe a drehbaren Theilkreises A und anderntheils der Träger H für den zweiten Kreis B. Der Kreis A kann um eine besondere Achse gedreht werden; zum Festklemmen desselben dient die mit aufsteckbarem Schlüssel versehene Schraube a', während die Arretirung und Feinstellung des Trägers E mit dem Nonienkreis mit Hülfe der Schrauben a_1 und a_2 erfolgt. E_1 bildet das Gegengewicht der von E getragenen Theile.

Die Drehung des um eine hohle, schwach konische Achse drehbaren Speichenkreises B geschieht durch die Griffknöpfe b, während zum Festklemmen und Feineinstellen die Schrauben b_1 und b_2 dienen. An dem Theilkreise B ist der durch G_1 balancirte Träger G des dritten Achsen- bezw. Kreissystemes C befestigt. Die Drehung des Kreises C erfolgt durch die Griffe c, zur Arretirung und Feinstellung desselben sind die Schrauben c_1 und c_2 vorgesehen (letztere nur in Fig. 2 gut sichtbar). In der konischen Achse des Kreises C lässt sich, ähnlich wie bei den bekannten einkreisigen Goniometern von Fuess, eine zylindrische Achse durch eine stark steigende Schraube (Knopf k) bewegen, an deren unterem Ende der bekannte Zentrir- und Justirapparat mit je zwei gekreuzten ebenen und zylindrischen Schraubenschlitten angeklemmt werden kann (k_2). Zum Feststellen der zylindrischen Achse dient die Schraube k_1 (nahe bei k_2 sitzend, aber nicht gut sichtbar).

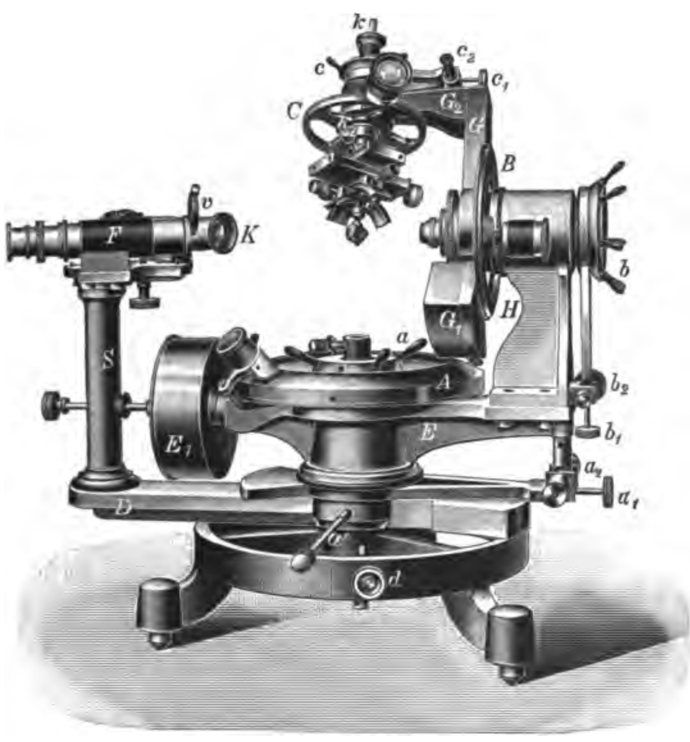


Fig. 1.

Eintheilung der Kreise. Die mit sehr bequem zugänglichen Ableselupen versehenen Kreise A, B und C tragen folgende Theilungen: Horizontaler Kreis A von etwa 18 *cm* Durchmesser in $^1/_4$ Grad, zwei Nonien geben 30″ an; vertikaler Kreis B (12 *cm* Durchmesser) und Kreis C (9 *cm* Durchmesser) in $^1/_2$ Grad, je zwei Nonien geben Minuten an.

Die Drehbarkeit um die vertikale Achse A (Träger D) erstreckt sich auf etwa 240 Grad, die um die horizontale Achse (Kreis B) auf 180 bis 200 Grad.

Fernrohr und Kollimator. Auf der Säule S, welche mit dem im Dreifuss drehbaren Träger D verbunden ist, sind in gegenseitig fester Lage und zwar unter einem Winkel von 60 Grad das Fernrohr F und der Kollimator K angebracht. Beide entsprechen ganz dem optischen Theil der Fuess'schen Reflexionsgoniometer mit einem Kreis. Das Fernrohr kann mit 4 verschiedenen Okularen versehen werden, welche dann folgende Vergrösserungen ergeben: $+1^1/_2$, 3, 6 und $-1^1/_2$. Als eigentliches Gebrauchsokular findet zumeist das erstgenannte mit $1^1/_2$-facher Vergrösserung (ein Huyghens'sches Okular) Verwendung. Der Kollimator besitzt als Signal das bekannte Schrauf'sche. Vor diesem befindet sich ein aufsteckbares Reflexionsprisma, das das Licht einer *seitlich*

aufgestellten Lichtquelle in den Kollimator reflektirt. Okular- und Signalrohre sind genau gleich im Durchmesser, damit man gegebenen Falles jedes der beiden Fernrohre als Kollimator oder Beobachtungsfernrohr verwenden kann. Zu diesem Zweck sind auch die Objektive von Fernrohr und Kollimator mit Vorschlaglupen v versehen.

Gebrauch des Instrumentes als einkreisiges Goniometer. Wenn auch diese Verwendungsart in Folge der komplizirten Einrichtung des Instrumentes nicht so bequem wie bei den speziell als einkreisige Instrumente konstruirten Goniometern ist, so ist sie immerhin gut möglich. Der Krystallträger verbleibt entweder an seinem gewöhnlichen Ort, am Kreis C, oder er wird auf einen in der Achse des Kreises A hoch- und tiefstellbaren Stift gebracht. Im ersteren Falle können die Kreisablesungen entweder am Kreis C oder am Kreis A erfolgen und die Achse von C kann dabei als die sogenannte „Zentrirachse" der einkreisigen Goniometer benutzt werden.

Gebrauch des Instrumentes als zweikreisiges Goniometer. Die Zusammenstellung des Instrumentes erfährt hierbei keinerlei Aenderung. Der Krystallträger verbleibt an dem gut fixirten Kreis C und bei den Operationen kommen nur die Drehbewegungen der Kreise A und B zur Anwendung. Das Messverfahren ist hierbei das gleiche wie bei den Instrumenten von v. Fedorow[1]) und Goldschmidt[2]).

Gebrauch des Instrumentes als dreikreisiges Goniometer[3]). Hierfür dient die durch Fig. 1 dargestellte Kombination, wie sie im Vorhergehenden beschrieben ist. Stellt man die Kante einer Zone parallel zur Achse des Kreises C und dreht den Krystall um diese Achse, so bringt man der Reihe nach alle Flächen in dieser Zone parallel zur Achse des Kreises B. Macht man nun durch Drehen des Trägers mit dem damit befestigten Nonienkreis eine Drehung um die Achse A, bis die Ablesung 0 Grad[4]) ergiebt und in dieser Lage das von einer zu B parallelen Fläche reflektirte Signalbild mit dem Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres zusammenfällt, so kann man der Reihe nach die verschiedenen Ablesungen notiren, wenn die verschiedenen Flächen B parallel sind. Der Bequemlichkeit halber ist hierbei die Achse von C senkrecht gestellt. Wenn man für den weiteren Gang der Messungen C festklemmt, sobald eine Fläche in dieser Lage ist und B dreht, so bringt man irgend eine Zone, welche durch jene Fläche geht, parallel zu A und findet die Ablesungen des letzteren Kreises für alle in der Zone liegenden Flächen. Es können also zweikreisige Messungen mit dem Pol irgend einer Fläche in einer besonderen Zone als Bezugspol vorgenommen werden.

Es ergiebt sich daraus, dass für irgend eine Zone, die mittels B und C parallel zu A gestellt ist,

A die Winkel in der Zone,

B den Winkel zwischen dieser Zone und der Bezugszone (also der Zone, deren Kante der Achse von C parallel ist) und

C den Pol giebt, in welchem die beiden Zonen einander schneiden.

Da, wie schon früher erwähnt, um A nur eine Drehung von etwa 240 Grad (bei Smith sogar nur 190 Grad) möglich ist, so kann gleichzeitig nicht die ganze Zone

---

[1]) E. v. Fedorow, *Zeitschr. f. Krystallogr. u. Miner.* **21.** *S. 574. 1893.*

[2]) V. Goldschmidt, *ebenda* **21.** *S. 210. 1893.*

[3]) Unter theilweiser Benutzung der von Hrn. Smith bei der Beschreibung seines dreikreisigen Goniometers (das aus einem Fuess'schen einkreisigen Goniometer hergestellt worden war) *a. a. O.* gegebenen Anleitung.

[4]) Da der Theilkreis A für sich noch besonders drehbar und klemmbar ist, so ist es leicht, in jeder beliebigen oder gerade erforderlichen Stellung des Nonienkreises von der Nullstellung auszugehen.

gemessen werden. Man wird deshalb etwa nur die Hälfte messen und um die Zone zu vervollständigen, muss man sodann C um 180 Grad und B durch den Nullpunkt zurückdrehen, bis die Achse von C den gleichen Winkel mit der Vertikalen bildet wie zuvor, nur auf der entgegengesetzten Seite. Beim Befestigen eines zu messenden Krystalles sollte man die Zone der grössten Symmetrie als Bezugszone wählen [111] und [010] in dem Falle hexagonaler bezw. monokliner Krystalle. Auf diese Weise wird mit Ausnahme trikliner Krystalle eine mögliche Fläche parallel zu C sein.

Stellt man den Kreis C vertikal, so kann man die Messung mit dem Pol der Fläche, die ihm parallel ist, als Bezugspol vornehmen und man bekommt so eine allgemeine Anschauung von der Lage der Flächen an einem Krystall. An einer stereographischen Projektion vermag man sofort zu ersehen, in welchen Zonen es am besten ist, die Messungen vorzunehmen.

Dass die Bezugszone eine solche der Symmetrie ist, ist durchaus nicht wesentlich, wenn auch am bequemsten. Soll ein unbekannter Krystall, dessen Symmetrie nicht unmittelbar bekannt ist, gemessen werden, um ihn zu identifiziren, so wird natürlich die am meisten hervortretende Zone als Bezugszone gewählt und es werden Messungen gemacht, um die Lage der übrigen Flächen in Bezug auf sie zu bestimmen.

Der Vollständigkeit halber möchte ich, anschliessend an das Vorhergegangene, das Resultat einer von Smith an einem Anorthitkrystalle vom Vesuv (Monte Somma) gemachten Messung als Beispiel für die Ablesungen, die man beim Arbeiten nach dieser Methode erhält, folgen lassen.

				Beobachtete Ablesungen.				
				A	B	C	C (von c):	Dana:
Bezugszone [100]	1	c	$(00\bar{1})$	= 0° 0′	0° 30′	198° 32′		
	2	n	$(02\bar{1})$	—	—	151 47	46° 45′	46° 46′
	3	b	(010)	—	—	104 31	85 55	85 50
	4	e	(021)	—	—	61 14	42 38	42 38½
	5	c	(001)	—	—	18 36		
	6	n	$(0\bar{2}1)$	—	—	332 5	46 31	46 46
	7	M	$(\bar{1}10)$	290 36	302 10	198 32		69 20
	7	M	$(\bar{1}10)$	62 23	64 45	104 31		62 26½
	8	z	$(\bar{1}30)$	30 54	—	—		30 58
	9	y	$(\bar{2}01)$	90 30	99 31	—		90 32½
	10	w	$(\bar{2}41)$	38 40	—	—		38 41½
	11	p	$(\bar{1}11)$	297 45	309 8	—		62 13
	12	o	$(\bar{1}\bar{1}1)$	64 46	—	—		64 53
	11	p	$(\bar{1}11)$	54 16	58 54	18 36		54 17
	9	y	$(\bar{2}01)$	81 8	91 44	—		81 14
	11	p	$(\bar{1}11)$	315 53½	277 22	61 14		
	9	y	$(\bar{2}01)$	275 44½	—	—		

Die in der letzten Reihe angegebenen Werthe sind aus Dana's *System of Mineralogy, 6. Aufl.* entnommen. Dieselben müssen mit den Ablesungen von A (nachdem nöthigenfalls von 360 Grad subtrahirt ist) verglichen werden, ausgenommen in dem Falle der Bezugszone, wo die Winkelwerthe mit den in der vierten Reihe gegebenen zu vergleichen sind.

Die beiden letzten Beobachtungen wurden aufgenommen, um die Zusammengehörigkeit von p, y und e in dieselbe Zone zu erweisen.

Justirung des Instrumentes als dreikreisiges Goniometer. Die Hauptbedingung, welche bei diesem Goniometer erfüllt sein muss, ist die, dass sich einerseits die verlängert gedachten Achsen von A und B und andererseits die von B und C schneiden und zwar unter einem Winkel von 90 Grad.

Die Bedingung, dass sich die beiden Achsen von A und B schneiden, wird auf rein mechanischem Wege erfüllt. Mit Hülfe der gewöhnlichen, auf den in A eingesetzten Stab geklemmten Zentrireinrichtung wird die beigegebene Nadel unter Beobachtung mit dem Fernrohr (Vorschlaglupe eingeklappt) zentrirt, wobei darauf zu achten ist, dass die Spitze der Nadel etwa bis zur Höhe der Mittellinie von B reicht. Dies erkennt man entweder dadurch, dass man durch die hohle Achse von B visirt oder den Horizontalfaden des Fernrohres als Marke benutzt. Auf eine beigegebene geeignete Einsteckhülse der hohlen Achse B klebt man mit Wachs eine genügend lange zweite Nadel und zentrirt diese ebenfalls in der vorbeschriebenen Art. Ist der erste Theil der Bedingungen erfüllt, so stossen beide zentrirte Nadeln genau aufeinander; anderenfalls muss der Träger H der Achse B nach Lösen der Befestigungsschrauben entsprechend gedreht werden.

Die Prüfung der Lage der Achse von C zu der von B geschieht sodann in ganz analoger Weise. Der mit der Zentrirnadel versehene Krystallträger wird von A abgenommen und an C angesetzt. Eine etwa erforderliche Berichtigung muss mittels der Befestigungsschrauben des horizontalen Trägers G_2 von C vorgenommen werden.

Zur Kontrole, ob die Achsen von A und B sich auch *rechtwinklig* schneiden, ist es zunächst nöthig, die Sehlinie des Fernrohres (optische Achse des Objektives) rechtwinklig zur Achse A zu stellen. Zu diesem Zweck befestigt man auf dem zylindrischen Stab der Achse A einen vertikal stehenden planparallelen Spiegel und richtet den Spiegel parallel und das Fernrohr rechtwinklig zur Achse A nach der bekannten Gauss'schen Methode (vgl. z. B. in dem Buch C. Leiss, Die optischen Instrumente u. s. w. *S. 10 bis 14* und *S. 124 bis 127*). Wenn eine vollständige Deckung des gespiegelten Fadenkreuzes hergestellt ist, stehen also das Fernrohr bezw. dessen Sehlinie und die Achse A zu einander senkrecht.

Es folgt nun die Kontrole, ob A und B zu einander senkrecht stehen bezw. ob B zur optischen Achse des Fernrohres parallel liegt. Man verbindet zu diesem Zweck den planparallelen Spiegel mit der Achse B (oder besser gleich mit C) unter Benutzung des Zentrir- und Justirapparates und richtet den Spiegel mittels der Gauss'schen Methode so, dass während der Drehung um B das gespiegelte Bild des Fadenkreuzes innerhalb des Sehfeldes ruhig an seinem Ort bleibt. Dies ist der Fall, sobald der Planparallelspiegel genau senkrecht zur Achse B steht. Bei unrichtiger Lage von B steht das Spiegelbild entweder über oder unter dem Horizontalfaden des Fernrohres und bleibt in dieser Lage, wie man auch die Achse drehen möge. Korrigirt wird dieser Fehler durch geringes Neigen (z. B. Unterlegen von Stanniol) unter die Anschraubfläche des Trägers H der Achse B. Dass das Spiegelbild gleichzeitig auch mit dem Vertikalfaden des Fernrohres koinzidirt, ist nicht von Belang, da man dies ja ohne Weiteres durch eine entsprechende Drehung des Trägers E um A erreichen kann.

Die Kontrole der Achsenlage von C geschieht genau in derselben Weise wie bei A; am besten ist es, dabei die Achse C vertikal zu stellen. Der Planparallelspiegel verbleibt wie bei der Kontrole von B am Zentrir- und Justirapparat. Eine Berichtigung würde an der Befestigungsstelle des horizontalen Trägers G_2 von C vorzunehmen sein.

Nach Beendigung der beschriebenen Operationen sind sämmtliche Prüfungen noch einmal zu wiederholen, für den Fall, dass inzwischen eine Aenderung eingetreten ist.

Erst nachdem das Fernrohr und die Achsenlagen justirt sind, wird das Signal im Kollimator mittels der vier am Signal befindlichen Justirschrauben eingerichtet.

Es geschieht dies in bekannter Weise derart, dass man nach der Gauss'schen Methode die an einer der drei Achsen (am einfachsten an *C*) angebrachte Planparallelplatte genau richtet, sodass also bei einer 180 Grad-Drehung (um Achse *A* oder *C*) der Planplatte das Spiegelbild des Fadenkreuzes genau mit dem wirklichen Fadenkreuz koinzidirt. In einer dieser beiden Koinzidenzstellungen justirt man, nachdem das Gauss'sche Okular durch ein gewöhnliches Beobachtungsokular ersetzt ist, das Signal so, dass der Kreuzungspunkt desselben bei der Drehung des Planparallelspiegels auf dem Horizontalfaden des Fernrohres entlang wandert.

Damit wäre dann die vollständige Justirung beendet, wobei natürlich vorausgesetzt ist, dass die Theilkreise u. s. w. einer Zentrirung überhaupt nicht bedürfen.

II. Zusammenstellung und Gebrauch des Instrumentes zur Bestimmung von Brechungsexponenten.

Durch Hinzufügung eines zweiten Fernrohres *T* (Fig. 2), welches mittels eines besonderen Trägers *t* und der Schraube t_1 in solider Weise mit dem Theilkreis *A* verbunden wird, kann das Instrument leicht zur Bestimmung von Brechungsexponenten nach der Methode der prismatischen Ablenkung und der Methode der Totalreflexion nach Kohlrausch verwendet werden. Das Fernrohr *T* ist ganz ähnlich dem gewöhnlichen Goniometer-Fernrohr *F* eingerichtet. Von Okularen mit justirbarem Fadenkreuz sind demselben zwei Stück beigegeben und zwar ein bildverkleinerndes und ein solches, welches eine etwa 3-fache Vergrösserung ergiebt. Zu dem Fernrohr *T* gehören ferner ein auf die Okulare aufklemmbarer Gauss'scher Illuminator zum Justiren des Fernrohres bezw. der Okulare, sowie ein Nicol'sches Prisma zur Trennung der Grenzen bei der Bestimmung doppelbrechender Substanzen.

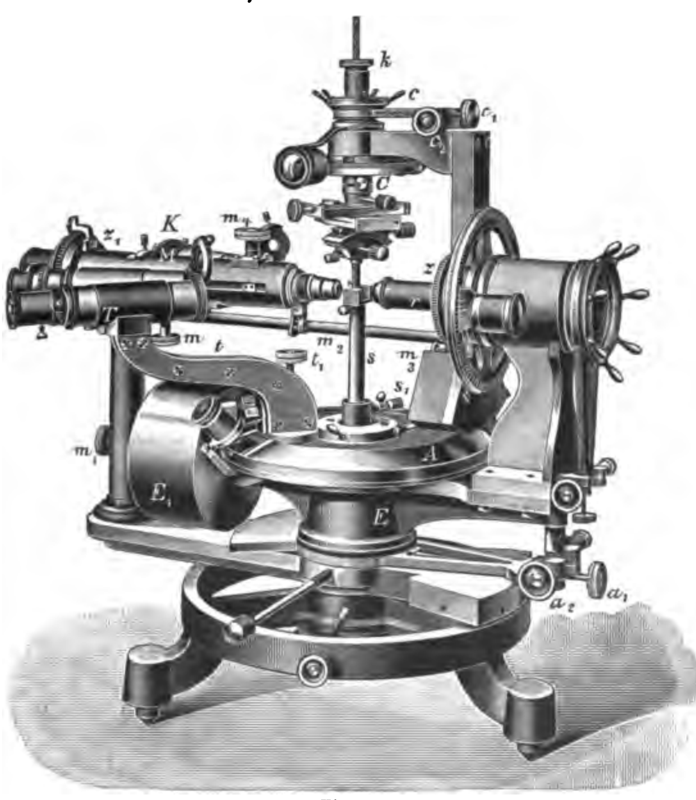


Fig. 2.

Methode der prismatischen Ablenkung. Hierfür wird gebraucht das Fernrohr *T*, der Kollimator *K* mit dem geraden oder Websky'schen Spalt an Stelle des Schrauf'schen Signales und der an *A* oder *C* befestigte Zentrir- und Justirapparat. In letzterem Falle würde das Prisma oder der Krystall hängend an dem Tischchen des Justirapparates zu befestigen sein. Für die Messung der Brechungsexponenten von Flüssigkeiten kann die Anordnung dieselbe bleiben, nur muss für den Fall, dass das nach oben offene Flüssigkeitsprisma mit *C* verbunden werden soll, dasselbe auf einen bügelartigen Halter aufgesetzt werden, welcher in den Justirapparat eingeklemmt ist.

Methode der Totalreflexion nach Kohlrausch (Fig. 2 und 3). Das Verfahren, bei dem man im vorliegenden Falle genöthigt ist, abweichend von demjenigen bei den älteren Kohlrausch'schen Apparaten, direkt den wahren Grenzwinkel, statt des doppelten, zu messen, ist folgendes. Die Krystallplatte wird an die Zentrir- und Justirvorrichtung der vertikal gestellten Achse C gebracht. In das Kollimatorrohr K wird an Stelle des Signalrohres ein Okular mit Gauss'schem Illuminator eingesetzt und die Plattenoberfläche des Krystalles in der bekannten Art normal zum Fernrohr K gestellt. Ist dies geschehen, so dreht man C um etwa 80 bis 90 Grad nach vorn, d. h. in der Richtung des Fernrohres T, und klemmt C fest. T wird am besten mit dem bildverkleinernden Okular nebst Gauss'schem Illuminator versehen.

Mit diesem sucht man nun nach der Gauss'schen Methode diejenige Kreisstellung des Fernrohres T, in welcher Letzteres normal zur Krystallplatte steht, und klemmt hierauf den Trägerarm E durch a_1 fest (eventuell ist unter Anwendung der Mikrometerschraube a_2 zur Bequemlichkeit der Ablesung auf einen Zehnerstrich der Theilung einzustellen). Die so gefundene Stellung ist als Nullstellung für den Ausgang der Messung zu betrachten.

Das mit einem Thermometer und einer Spiegelglasplatte P (Fig. 3) versehene runde *Flüssigkeitsgefäss* aus Glas wird in das obere Ende des Stabes s eingesetzt und soweit gehoben, bis der Krystall genügend in die Flüssigkeit eintaucht. Mit Hülfe der Gauss'schen Methode wird nun die Austrittsfläche der Grenzstrahlen senkrecht zur Sehlinie des Beobachtungsfernrohres T gestellt und in dieser Stellung der Stab s mittels der Schraube s_1 geklemmt. Da s fest mit dem Kreis A, auf dem sich das Fernrohr T befindet, verbunden ist, so bleibt bei allen Drehungen, die zur Aufsuchung und Einstellung des Grenzwinkels erforderlich sind, die Austrittsfläche P des Glasgefässes normal zur Fernrohrachse T. Hat man also das Fernrohr auf die sich zeigende Grenze geführt und genau eingestellt, so giebt die am Theilkreis ausgeführte Drehung direkt den wahren Grenzwinkel gegen die benutzte Flüssigkeit an.

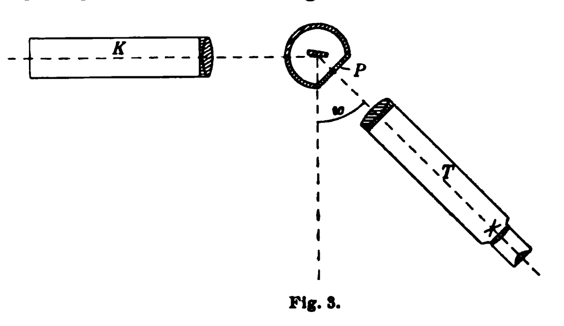


Fig. 3.

Zur *Beleuchtung* dient eine nahe hinter dem Kollimator K und konachsial zu demselben aufgestellte homogene Leuchtflamme. Um ein möglichst intensives Licht auf die Krystallplatte zu senden, ist aus K sowohl das Okular- als auch das Signalrohr entnommen, sodass das Objektiv von K als Beleuchtungslinse wirkt. Zur weiteren Erhöhung der Beleuchtungswirkung kann in den Kollimator noch eine Sammellinse eingeschoben werden, welche dann die von der Lichtquelle aufgenommenen Strahlen parallel auf das Objektiv von K sendet; Letzteres vereinigt die Strahlen auf dem Präparat.

Diese Art des Messverfahrens, welche die bei Kohlrausch nicht erforderliche Anwendung der Gauss'schen Methode bedingt, hat den Vortheil, dass, abgesehen von der direkten Messung des Grenzwinkels, die Lichtquelle unverändert auf ihrem Platz verbleiben kann.

Auf den das Flüssigkeitsgefäss tragenden Stab s kann noch ein in der Fig. 2 nicht angedeuteter Klemmring aufgesetzt werden, welcher dazu dient, bei dem Einrichten des Flüssigkeitsgefässes ein Niedersinken des Stabes s zu verhindern.

Um den Krystall oder die Krystallplatte um die Normale der betreffenden Fläche drehen zu können, kann ein besonderer, in den Zentrir- und Justirapparat einklemmbarer Krystallhalter beigegeben werden.

III. Zusammenstellung und Gebrauch des Instrumentes zur Untersuchung von Krystallen in Medien gleicher Brechbarkeit (Fig. 2).

Das Fernrohr T ist entfernt. Auf den Träger des Fernrohres F und des Kollimators K, und zwar zwischen beiden, wird mittels der Schraube m das Mikroskop M in genau orientirter Lage (durch Stellstifte) angesetzt. Der Polarisator ist in die hohle Achse von B eingeschlossen; am inneren Ende von B können Kondensoren verschiedener Brennweite mit einer in B einsteckbaren Röhre r angesetzt werden. Die Säule S bezw. der Träger D wird mit dem Träger E dadurch fest verbunden und damit Mikroskop und Polarisatorrohr (Achse B) in Opposition gebracht, dass der mit Griffknopf versehene, in der Säule S gelagerte zylindrische Stahlstift m_1 in die zentrale Bohrung des Gegengewichtes von E_1 gestossen wird. Das Mikroskop besitzt behufs weitgehendster Anwendung für die vorliegenden Zwecke eine *Einrichtung zur gemeinsamen Drehung der Nicols.* Zu diesem Zwecke ist einerseits die drehbare Hülse des Polarisators mit dem Zahnrad z und andererseits der Tubusaufsatz des Analysators nach Art der neueren Fuess'schen Mikroskope (s. C. Leiss, Optische Instrumente. *S. 199 bis 205*) mit dem Zahnrad z_1 versehen. Jedes dieser beiden Zahnräder greift in je ein kleineres Zahnrad ein, das auf einem festen mit M bezw. B verbundenen Arm montirt ist. Die gemeinsame Drehung beider Zahnräder z und z_1 bezw. der beiden Nicols geschieht nun mit Hülfe des Stabes m_2, welcher an jedem Ende eine kleinere Scheibe trägt; jede dieser beiden Scheiben ist mit den kleineren Zahnrädern durch je zwei kleine Schrauben m_3 (nur eine in Fig. 2 sichtbar) derart verbunden, dass die an den Rädern angebrachten gleichartigen Markirungszeichen zusammenkommen.

Ein etwaiger todter Gang in den Zahnrädern ist in derselben Art wie bei den bereits erwähnten neueren Mikroskopen von Fuess durch eine an den kleinen Zahnrädern befindliche federnde Einrichtung aufgehoben.

Die Drehung der Nicols erfolgt am besten durch Anfassen an dem Zahnrad z_1 des Analysators, welches gleichzeitig auch den Theilkreis (in 360 Grade getheilt, mit 5 Minuten-Nonius) trägt.

An sonstigen Einrichtungen besitzt das Mikroskop eine aus- und einschaltbare Bertrand'sche Linse, eine Triebbewegung m_4 zur Scharfeinstellung, die in vorliegendem Falle mit dem Objektiv verbunden werden musste, und einen Zangen-Objektivwechsler. Der auf den Theilkreis aufsteckbare Analysator ist in seiner Hülse aus- und einschaltbar und besitzt einen unter 45 Grad zum Hauptschnitt des Nicols geneigten Schlitz zum Einschieben von Gyps- und Glimmerplättchen.

Das Präparat, gleichviel ob ganzer Krystall, Bruchstück oder Platte, wird mittels geeigneter Halter oder Pinzetten stets am Zentrir- und Justirapparat befestigt (Kreis C).

Das *Flüssigkeitsgefäss* wird wie früher auf den Stab s gebracht. In diesem Falle ist dasselbe jedoch mit zwei zu einander parallelen Spiegelglasplatten versehen (s. Fig. 2).

Verwendung zu Achsenwinkelmessungen. Da hierbei stets mehr oder weniger stark konvergentes Licht bei genügendem Abstand des Objektives erforderlich ist, so wird hierfür in den Zangenwechsler eine besondere, stark gekrümmte Linse eingesetzt, auf deren vorderer Fläche ein Strichkreuz eingeätzt ist. Dieses dient dann direkt

zur Einstellung auf die Achsenbarren, indem sowohl die Bertrand'sche Linse als auch das Okular ausgeschaltet ist.

Verwendung als Universaldrehapparat nach E. v. Fedorow und C. Klein. Für die Bestimmung der Hauptschnitte und Messung des Winkels der optischen Achsen an Krystallen und Bruchstücken bleibt die Anordnung des Mikroskopes wie zuvor. Zur Ermittelung der Lage der Auslöschungsschiefen auf den Flächen einer Zone wird das Mikroskop für „paralleles Licht" eingerichtet, also mit einem der schwächeren Objektive (etwa Nr. 0 bis 3) versehen, und die Bertrand'sche Linse ausgeschaltet.

Die Justirschlitten des Zentrir- und Justirapparates müssen für diese Verwendungsart mit Kreistheilungen analog denen der bekannten Klein'schen Universal-Drehapparate (s. C. Klein, *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1895. S. 94;* C. Leiss, Optische Instrumente. *S. 232*), welche als Attribut der Fuess'schen Mikroskope dienen, versehen sein.

Der Planigraph.

Von

Ingenieur **E. Marzorati** in Mailand [1]).

Der Planigraph soll dazu dienen, genaue Lagepläne in einem bestimmten Maassstab rasch aufzunehmen und aufzutragen. Die Entfernungen der aufzunehmenden Punkte werden optisch-mechanisch gemessen, und diese Punkte werden sogleich auf dem Felde zu Papier gebracht, sodass, um den Lageplan zu erledigen, nichts mehr zu thun bleibt, als die Punkte zu verbinden.

Die theoretische Grundlage des Planigraphen ist dieselbe, wie bei vielen andern Entfernungsmessern: Die scheinbare Grösse eines Nivellirlattenstücks von bestimmter Länge steht im umgekehrten Verhältniss zur Entfernung der Latte von dem Punkt, von dem aus sie beobachtet wird.

In dem Punkt P (Fig. 1) sei eine Nivellirlatte vertikal aufgestellt; es sei ferner d die horizontale Entfernung des Punkts P von dem Stationspunkt (Instrumentenstand-

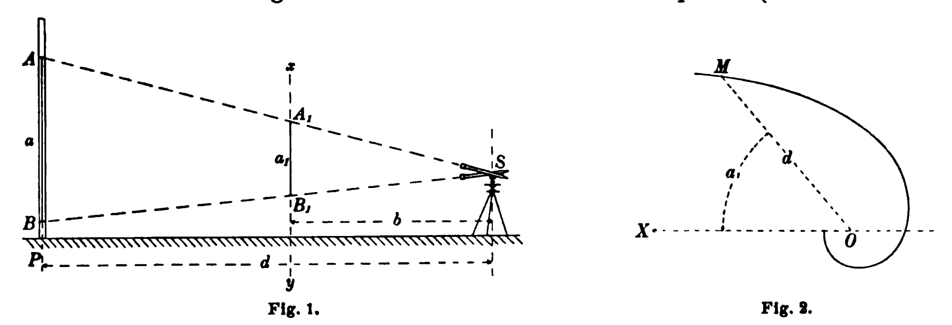


Fig. 1. Fig. 2.

punkt) S. Wenn man die Strecke AB der Nivellirlatte von bestimmter Länge a beobachtet, indem auf der festen vertikalen Linie xy, die am Instrument in bekannter unveränderlicher Entfernung b von S liegt, der Abschnitt $A_1 B_1 = a_1$ gemessen wird, der von den Sehstrahlen SA und SB begrenzt ist, so ist

$$a : a_1 = d : b.$$

Bezeichnet man die Konstante $a \cdot b$ mit h, so wird

$$a_1 = \frac{h}{d} \quad \text{oder} \quad d = \frac{h}{a_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

---

[1]) Das Original-Manuskript ist im Einverständniss mit dem Verf. von Hrn. Prof. Dr. Hammer in Stuttgart für die Zeitschrift bearbeitet worden. — Die Red.

Die „scheinbare“ Grösse a_1 des Lattenstücks a wird hier nicht als Winkelgrösse, wie gewöhnlich, sondern als Strecke vorausgesetzt.

Aus Gleichung 1) ergiebt sich, nachdem a_1 gemessen ist, die Horizontaldistanz d ganz ohne Beeinflussung durch den Höhenunterschied der zwei Punkte S und P.

Nach der Gleichung 1) kann man die zu einem beobachteten a_1 gehörige Horizontaldistanz d auch *graphisch* oder *graphisch-mechanisch* bestimmen. Man erhält dann, da die Richtung (im horizontalen Sinn) nach dem aufzunehmenden Punkt ebenfalls vom Planigraphen geliefert wird, durch dieses Instrument eine fertige Horizontalaufnahme in Polarkoordinaten. Zur Entfernungsbestimmung wird eine *Kurve* verwendet, die zu einer der Strecke a_1 proportionalen Bogenlänge die zugehörige Entfernung d oder vielmehr die Strecke $d_1 = \frac{1}{n} d$ als Radiusvektor liefert. Diese Kurve ist eine *hyperbolische Spirale* (Fig. 2).

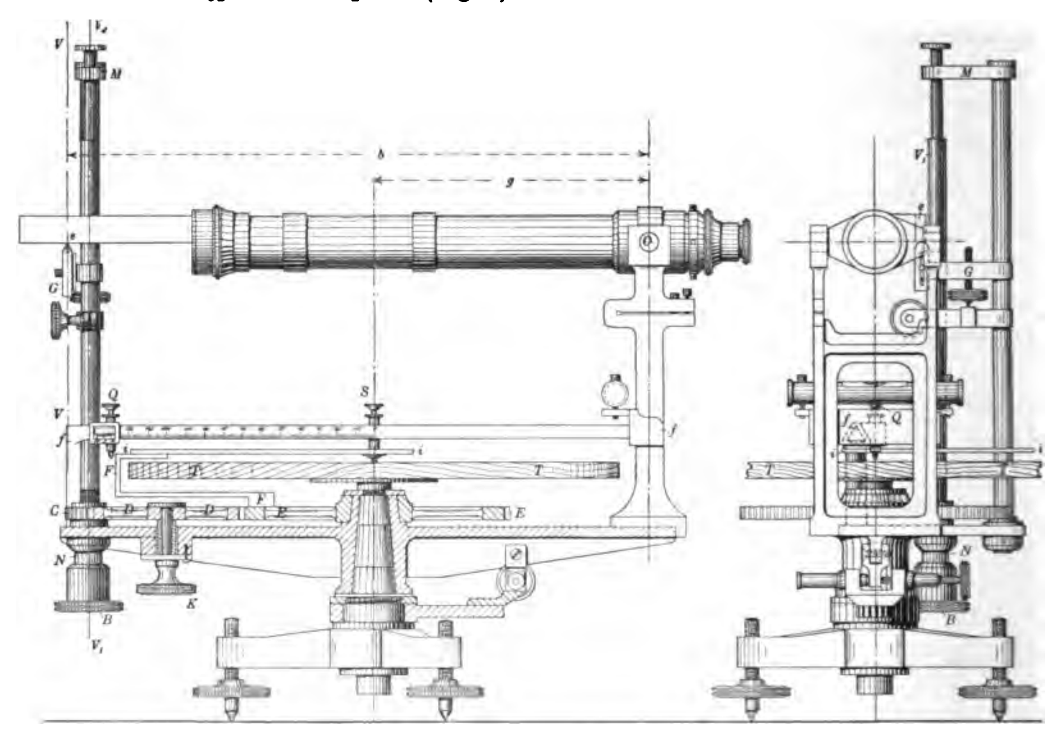


Fig. 3.

Die Einrichtung des neuen Instruments geht aus den Fig. 3 bis 5 hervor[1]).

In Fig. 3 stellt $V_1 V_1$ eine vertikale Stange dar, der vertikalen Linie xy in Fig. 1 entsprechend[2]). Das sich um den Punkt O drehende Fernrohr ruht beständig, mittels eines seitlichen Arms e, auf der abgerundeten Schneide eines Stücks G, das längs $V_1 V_1$ laufen und durch eine Schraube an einem beliebigen Punkt festgestellt werden kann. Das untere, mit Schraubengewinde versehene Ende der Stange $V_1 V_1$ geht durch die Hülse N, die das Zahnrädchen C trägt; dieses greift in das Rad D ein und dieses wiederum in das Zentralrad E.

[1]) Ein früheres Modell des Instruments unterschied sich wesentlich von dem hier zu beschreibenden; vgl. über dieses ältere Modell die Aufsätze in den Mailänder Zeitschriften *Il Politecnico Juli 1899* und *Il Monitore Tecnico Nr. 33. 1900.*

[2]) In Fig. 1 ist die feststehende Vertikallinie xy nur deshalb ohne Verbindung mit dem Instrument gezeichnet, damit die Figur deutlicher wurde.

Wenn man durch Drehung des Kopfs B das Stück N dreht, so bewegt sich die Stange $V_1 V_1$ in vertikaler Richtung; zugleich dreht sich auch das Zentralrad E in Folge der Bewegung, die ihm durch das Zwischenrad D übermittelt wird. Die Drehung von E ist der vertikalen Bewegung von $V_1 V_1$ direkt proportional, d. h. proportional der Verstellung des Fernrohrs zwischen der I. und II. Zielung; diese Verstellung ist aber eben die scheinbare Grösse a_1 des Lattenstücks a. Zwischen dieser Drehung, die mit θ bezeichnet sei, und der Entfernung d besteht eine mit 1) analoge Gleichung, es ist nämlich

$$\theta = \frac{h}{d} \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad 2)$$

d. h. jedem Werth von θ oder jeder von E angenommenen Stellung entspricht ein bestimmter Werth von d, daher auch von a_1. Nach diesen Beziehungen kann das Diagramm der Entfernungen entworfen werden, das am Rade E anzubringen ist; dieses Diagramm ii ist (vgl. die Fig. 4 u. 5) aus einer Stahlplatte geschnitten und wird durch den auf dem Rad E befestigten Träger F und durch einen an dem Lineal ff befestigten Zentralzapfen in S einige Millimeter hoch über der Tafel (Messtischplatte) T gehalten. Das Lineal ff trägt den mit beweglichem Stift (Fallstift) versehenen Schieber Q, der mit dem Diagramm der Entfernungen in Berührung gebracht

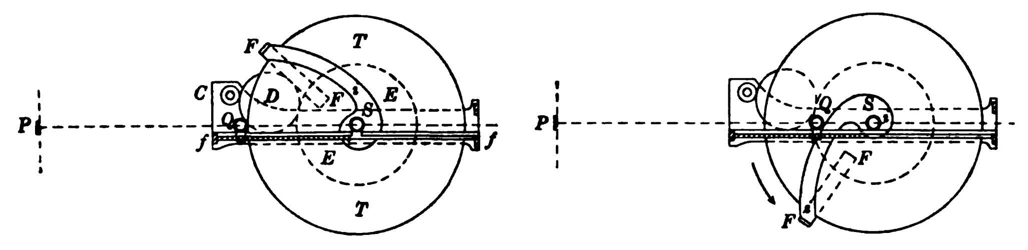


Fig. 4. I. Zielung. Fig. 5. II. Zielung.

werden kann (Fig. 5). Der feste Stift S, der Drehungspunkt des Diagramms, befindet sich auf dem dem Stationszentrum des Instruments entsprechenden Punkt der Zeichnung. Fig. 3 zeigt auch, dass der Drehungspunkt des Fernrohrs hinter dem Stationspunkt S liegt. Die Anordnung ist im Interesse der Erleichterung der Konstruktion getroffen und besonders zur Vergrösserung der Strecke b, die die *Basis* für die Entfernungsmessungen vorstellt. Diese Versetzung des Fernrohrdrehungspunkts gegen den Mittelpunkt des Instruments, die in Fig. 3 mit g bezeichnet ist, ist ohne Bedeutung für die Entfernungsmessung, weil sie auf dem Diagramm berücksichtigt wird.

Die Nivellirlatte unterscheidet sich nicht von einer gewöhnlichen Nivellirlatte mit Zentesimaltheilung; man kann so die konstante Strecke a beliebig wählen. Für Aufnahmen im Maassstab 1 : 2000 wird a am besten gleich 2 m genommen.

Handhabung des Planigraphen. Nachdem das Instrument in üblicher Weise horizontirt ist, richtet man das Fernrohr auf einen beliebigen obern Strich der Latte, was durch eine Verschiebung des Stücks G längs der Stange $V_1 V_1$ bewirkt wird, und zwar zuerst durch die Hand, dann mit der an dem Stück G befindlichen Feinstell-Schraube. Nachdem dieser obere Punkt eingestellt ist, ist ebenso der zweite untere Punkt einzustellen: durch Drehung des an dem Rad D befestigten Knopfes K für die gröbere Bewegung und des Knopfes B für die feine Bewegung lässt man das Fernrohr so lange herab, bis man den genau 2 m unter dem zuerst angezielten Theilstrich liegenden Strich der Theilung erreicht hat. Dadurch hat zugleich das Diagramm ii die Stellung angenommen, in der es graphisch die Strecke d liefert, die der gesuchten Entfernung des Punkts P entspricht; man hat nur noch den beweglichen

Schieber Q in Berührung mit dem Diagramm zu bringen und durch Drücken auf das Knöpfchen an Q den so aufgenommenen Punkt auf den Plan zu übertragen. Zu bemerken ist nur noch, dass vor jeder neuen I. Zielung das Diagramm i in eine bestimmte *Nulllage* gedreht werden muss, die durch Anschlag des am Rad E befindlichen Kopfs mechanisch erreicht wird.

Man erhält so punktweise in kurzer Zeit den Lageplan der Umgebung des Instruments.

Die Handhabung des Planigraphen kann durchaus mechanisch vor sich gehen und ist sehr leicht zu erlernen. Hat man den Lattenabschnitt gewählt (a ist beliebig gross, nur selbstverständlich innerhalb der Grenzen einer gewöhnlichen Nivellirlatte und bedingt durch die geforderte Genauigkeit der Aufnahme; es ist bereits erwähnt, dass man für Aufnahmen im Maassstab 1:2000 den Werth $a = 2$ *m* wählen kann, für 1:1000 genügt 1 *m*), so geht alles Weitere ganz mechanisch vor sich. Die Genauigkeit der Entfernungsmessung mit dem neuen Instrument ist bedeutend; auch ist eine grosse Zahl von Fehlerquellen, die bei Anwendung andrer Instrumente vorliegen, hier nicht vorhanden.

Um von den Abmessungen des Instruments einen Begriff zu geben, sei noch erwähnt, dass die runde Messtischplatte 26 *cm* Durchmesser hat; nach beendigter Aufnahme wird sie abgenommen, in den Kasten gesetzt und an einer Wand desselben befestigt, sodass das Instrument und die Messtischtafel mit den übrigen Theilen zusammen in einem 40 *cm* langen, 35 *cm* hohen und 18 *cm* breiten Kästchen untergebracht werden können.

Das Messbereich des Instruments ist, beim Maassstab 1:2000 der Aufnahme, gleich 260 *m*. Die Grundlinie b, d. h. die Entfernung des Drehungsmittelpunkts O des Fernrohrs von der Vertikallinie VV (Schneide von G) ist gleich 30 *cm*. Die Gleichung 1) wird mit $a = 2$ *m*, $b = 30$ *cm*

$$d = \frac{0,60}{a_1}.$$

Diese Gleichung kommt aber so nicht zur Anwendung, da es in der Praxis besser ist, das Entfernungsdiagramm nicht nach den dieser Gleichung entsprechenden theoretischen Werthen, sondern auf Grund der Beobachtungen an bekannten Entfernungen zu entwerfen. Dadurch werden die Fehler vermieden, die sonst aus Mängeln an der Schraube von $V_1 V_1$, sowie an den Zahnrädern entstehen könnten, die dem Diagramm der Entfernungen ihre Bewegung übertragen. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass bei Herstellung des Diagramms auch dem Durchmesser des Fallstiftes am Schieber Q Rechnung getragen ist, sodass dessen Spitze den verlangten Punkt zeichnet. Statt den aufgenommenen Punkt mit Hülfe von Q auf die bisher angedeutete Art sogleich zu Papier zu bringen, kann man die Entfernung auch an dem Lineal ff mit Hülfe der dort angebrachten Theilung und des Nonius am Rahmen von Q ablesen.

Nach Ansicht des Verfassers bietet das hier beschriebene Instrument viele Vortheile, sowohl was Einfachheit, als auch was Schnelligkeit und Genauigkeit der Arbeit betrifft, besonders in den Fällen, in denen der Hauptzweck der Aufnahme die rasche Grundrissdarstellung eines Komplexes von Grundstücken ist. Alle Ablesungen, Zahlennotirungen, Berechnungen und Auftragungen werden durch eine einzige Arbeit ersetzt, die vom Instrument selbst fast automatisch ausgeführt wird.

Ein vollständiger Planigraph neuen Modells kostet etwa 320 M.

Ueber Luftschlieren und Zonenfehler.

Von
Karl Strehl in Erlangen.

Die Anregung zu der folgenden Arbeit verdanke ich einer Abhandlung von K. Exner: „Erklärung der Szintillation" (*Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien.* ***110,*** *II a. S. 90. 1901*), sowie einem Gespräch mit Hrn. Dr. R. Steinheil.

1. Luftschlieren.

Wenn ich mich zu ersterer wende, so führe ich zunächst die belangreichen Stellen wörtlich an und zwar *S. 93*: „Die ursprünglich ebenen, von den Fixsternen kommenden Wellenflächen gewinnen beim Durchgang durch die Atmosphäre unregelmässige und mit der Bewegung der Luft stets wechselnde Aus- und Einbiegungen. Die Höhe und Tiefe einer solchen Verkrümmung ist im Allgemeinen von der Grössenordnung einer Lichtwellenlänge, der Durchmesser oder die Erstreckung einer Konkavität oder Konvexität längs der Wellenfläche von der Grössenordnung eines Dezimeters und der Minimalwerth des Krümmungsradius kann beispielsweise 4000 *m* betragen" und *S. 92*: „... kleinste Werthe während der Beobachtungszeit 1817 bis 19380, und im Mittel 4733 *m* ...". Indem ich nun zur Verwerthung dieser Beobachtungen schreite, kann ich nebenbei die Verwunderung nicht unterdrücken, dass noch immer die einseitige und unrichtige Berechnung der Auflösung von Doppelsternen von Foucault verwendet wird, während doch längst die Trennung von selbstleuchtenden oder beleuchteten Punkten, Geraden, Halbebenen auf dunklem Grund oder umgekehrt von dunklen Objekten auf hellem Grund auf das Genaueste nach richtigen Grundsätzen ermittelt ist; bezüglich der uns hier interessirenden Stellen gebe ich zwar gerne zu, dass die Normalen einer z. B. wellblechartig verbogenen Wellenfläche eine parallele Ebene in entsprechendem Abstand streifenweise in grösserer bezw. kleinerer Dichte durchsetzen, halte es aber für ein Problem der Beugungstheorie — nicht der geometrischen Optik — über die Lichtvertheilung in dieser Ebene Zuverlässiges und Genaues auszusagen. Bei meinen Berechnungen nun sah ich mich gezwungen, wollte ich nicht unangemessene Zeit aufwenden, mich auf die einfachsten Verhältnisse zu beschränken. Einmal zog ich aus eben genanntem Grund nur Wellenflächen mit wellblechartiger Verbiegung, nicht solche, welche zwar eben sind, aber eine unregelmässige Lichtvertheilung zeigen[1]), in Betracht, in der wohl zulässigen Annahme, dass bei waagerechten Luftschlieren verschiedener Temperatur diese entstehen und dieser Fall mindestens ebenso berechtigt ist wie der von Wellenflächen mit beulenförmigen bezw. napfförmigen Verbiegungen bei unregelmässigen Luftmischungen. Zum Anderen wählte ich für die Form der wellenförmigen Verbiegung die Sinuskurve, weil diese künstliche Annahme in vielen Fällen eine natürliche ist. Endlich beschränkte ich mich auf eine (d. h. die hellste, mithin ausschlaggebende) Farbe und wählte die Pfeilhöhe der Durchbiegung weit kleiner, als sie Exner im Mittel gefunden hat, nämlich gleich $\lambda/6$, weil ich die Wirkung eines Luftzustandes studiren wollte, bei welchem kleine und grosse Fernrohre noch leistungsfähig erscheinen. Die Länge der Sehne nahm ich mit Exner zu 1 *dm* an, doch ist diese Annahme deshalb gleichgültig, weil man nur die Oeffnung des Objektives

[1]) Uebrigens lehrt eine einfache Ueberlegung, dass in diesem Falle der Einfluss grosser Objektive ganz zurücktritt.

proportional zu ändern braucht, um die Gültigkeit des Resultates aufrecht zu halten.

Bevor wir dieses ins Auge fassen, müssen wir einen Blick auf die Art und Weise der Rechnung werfen. Wenn vor einem fehlerfreien Objektiv eine zu diesem parallele ebene Wellenfläche ankommen würde, dann wären alle Lichtwege von dieser bis zum Brennpunkt gleich lang, mithin würden sämmtliche Elementarschwingungen in diesem mit gleicher Phase zusammenwirken und das Resultat wäre eine Definitionshelligkeit von 100 %. Wenn jedoch die Wellenfläche vor dem fehlerfreien Objektiv verbogen ist oder die ebene Wellenfläche auf ein Objektiv mit Zonenfehlern trifft, dann treten in (unserem) ersteren Falle längs der *Sehnen*, im letzteren längs der *Zonen* des Objektives Verfrühungen bezw. Verspätungen auf, welche bewirken, dass die Definitionshelligkeit im Brennpunkt unter 100 % sinkt. Allgemein hat man das Verhältniss von der Verkürzung oder Verlängerung des Lichtweges zu der Wellenlänge in Winkelmaass auszudrücken, von diesem den cos oder sin zu nehmen und über sämmtliche Flächenelemente des Objektives zu summiren. Die Summe, dividirt durch die Gesammtfläche des Objektives, giebt die Durchschnittsamplitude und deren Quadrat die Definitionshelligkeit. Da es sich nicht nur um einen bestimmten Schwingungszustand der Wellenfläche vor dem Objektiv handelt, vielmehr um die Resultante sämmtlicher, so hat man nicht nur den cos *oder* den sin, vielmehr cos *und* sin und nach dem Satz $\cos^2 + \sin^2 = 1$ die Summe der Resultate zu nehmen. (Näheres hierüber z. B. in meiner „Theorie des Fernrohrs“ *S. 30.*) Ein Beispiel möge dies zeigen.

Δ	cos	sin	*s*	*sc*	*ss*	Δ	cos	sin	*s*	*sc*	*ss*
0	+ 100	+ 0	0	+ 0	+ 0	$\lambda/6$	+ 50	+ 87	0	+ 0	+ 0
	+ 87	+ 50	89	+ 77	+ 45		+ 62	+ 79	89	+ 55	+ 70
	+ 62	+ 79	113	+ 70	+ 89		+ 87	+ 50	113	+ 98	+ 57
$\lambda/6$	+ 50	+ 87	120	+ 60	+ 104	0	+ 100	0	120	+ 120	0
	+ 62	+ 79	113	+ 70	+ 89		+ 87	− 50	113	+ 98	− 57
	+ 87	+ 50	89	+ 77	+ 45		+ 62	− 79	89	+ 55	− 70
			524	354	372				524	426	0
(*m*)	96 %	= 263 :	275	125	138	(*g*)	66 %	= 181 :	275	181	0

Es behandelt den Fall gleicher Grösse (= 1 *dm*) von Durchbiegung der Wellenfläche und Objektivdurchmesser, wobei entweder (*m*) die Mittellinie einer Durchbiegung oder (*g*) die Grenzlinie zwischen einer Ausbiegung und einer Einbiegung durch die Achse des Objektives geht. Es bedeuten Δ die lineare Verbiegung (es sind nur die Grenzwerthe angegeben), die Werthe unter cos und sin die entsprechenden Funktionen von $\Delta : \lambda$ (wobei $\Delta : \lambda = 1$ dem Werth 2π entspricht), *s* die Längen (und wegen gleicher Breite auch Flächen der Streifen) der Sehnen des Objektives, *sc* bezw. *ss* die Produkte aus *s* mal cos bezw. sin, die Werthe 524 u. s. w. die Summen und die Werthe 275 u. s. w. deren Quadrate, wobei alle früheren Werthe mit 100 erweitert oder gekürzt, die Quadrate mit 1000 gekürzt wurden, um die Genauigkeit in zweckmässigen Grenzen zu halten.

Gleich bei diesem Beispiel will ich darauf hinweisen, dass die Definitionshelligkeit im Fall (*g*) nur scheinbar auffallend gering zu sein braucht gegenüber dem Fall (*m*); denn wegen der unsymmetrischen Lage der Wellenfläche wird sich der Schwerpunkt des Beugungsbildes merklich aus der optischen Achse verschieben und der Brennpunkt nicht mehr der hellste Punkt sein. Da aber beim Vorüberziehen der Luftschlieren der Lichtschwerpunkt abwechselnd nach beiden Seiten sich verschiebt, der Stern mithin um den Brennpunkt oszillirt (vgl. eine Bemerkung über

das Beobachten am Meridiankreis in der alten Astronomie von Lamont) und weitere Berechnungen zu langwierig gewesen wären, so begnügte ich mich mit der Bezugnahme auf den Brennpunkt[1]).

Wenn wir jedoch die allgemeine Gleichung der Durchbiegungswelle $y = (\lambda/n) \cdot \sin(2\pi x/200)$ oder nach Differentiation $dy = (\lambda/n) \cdot (2\pi/200) \cdot \cos(2\pi x/200) \cdot dx$ betrachten und den Fall des Beobachtens mit blossem Auge studiren, wobei in jedem Augenblick nur ein so gut wie ebenes Stück Wellenfläche zur Wirkung kommt, dann finden wir, dass im Fall (g) für eine einseitige Durchbiegung $\Delta = \lambda$ die einseitige Sternschwankung 3,27″ (für $\Delta = \lambda/6$ nur noch 0,55″) beträgt, ein mit den Beobachtungen gut übereinstimmender Werth. Da zwei Beobachter mehr als 2 *dm* Abstand haben, so kann das Sternschwanken sehr wohl für beide gegensätzlich und doch eine objektive Erscheinung sein. Die „Subjektivität“ liegt in diesem Fall im gegenseitigen Abstand.

Nunmehr wende ich mich zu den allgemeinen Resultaten. Die Oeffnung des Objektives ist aus praktischen Gründen in Sechsteln von der Sehne der Durchbiegung (mithin durchschnittlich in Sechsteln von 1 *dm*) angegeben, die Definitionshelligkeit in %, stets bezogen auf den Brennpunkt[2]); (m) und (g) sind bereits erklärt.

Oeffnung:	6	8	10	12	16	24	30	48
Lage (m)	96	71	71	63	54	57	56	55
Lage (g)	66	55	51	52	59	55	55	57.

Beide Intensitätskurven verlaufen wellenförmig, kommen einander immer näher und greifen merkwürdigerweise über einander; weitaus am Wichtigsten ist jedoch:

Der Verlust an Definitionshelligkeit in Folge von Luftschlieren geringen Grades wächst rasch bis zu einem für grosse Objektive fast konstanten Werth. Wenn wir mithin in astronomischen Schriften lesen, dass die Verschlechterung der Bildgüte zum Kubus der Oeffnung proportional sei, dann müssen wir im Rahmen unserer Berechnung entschieden widersprechen.

2. Zonenfehler.

Indem ich nun zur Besprechung der Wirkung des Kugelgestaltfehlers übergehe, kann ich mich unter Beschränkung auf Fernrohrobjektive der üblichen Anschauung nicht anschliessen. Wenn behauptet wird, der Fehler kommt von dem Umstand, dass man keine anderen als nur Kugelflächen schleifen kann, so bin ich der Ansicht:

Der Uebelstand ist der, dass man alle möglichen, nur keine Kugelflächen bekommt.

Bereits früher habe ich nachgewiesen, dass man mit mathematisch genauen Kugelflächen die reine sphärische Aberration und im Allgemeinen auch die *rechnerischen* Zonenfehler bis zur Unmerklichkeit klein machen kann und dies nach streng beugungstheoretischen Grundsätzen. Der Feind, gegen den es gilt mit allen Mitteln zu kämpfen, sind die *mechanischen* Zonenfehler[3]). Freilich darf man nicht in der Wirkung beide verwechseln. Hierauf wurde von R. Steinheil und mir schon früher hingewiesen. Vor Allem kommt es auf den Besitz einer genügend empfindlichen Methode an, um Zonenfehler überhaupt untersuchen zu können; die alten Methoden taugen nichts. Neuerdings existirt glücklicherweise eine solche. Die Hauptsache ist am Ende, die Zonenfehler beseitigen zu können; hierin hat Hr. R. Steinheil günstige Resultate

[1]) Gleiches gilt von der Verschiebung des Lichtschwerpunktes *längs* der optischen Achse.

[2]) Je kleiner die Definitionshelligkeit, um so grösser ist die sichtbare Fläche des Beugungsbildes (m).

[3]) Nach Steinheil auch die Aenderung des Brechungsindex mit der Zone.

erzielt, über die unlängst berichtet wurde[1]). Ich wende mich nun zum rein Theoretischen, wobei ich mich wieder auf die einfachsten Fälle beschränke, weil dies genügt.

Die meisten rechnerischen und typische mechanische Zonenfehler haben die Eigenthümlichkeit, dass die Längsabweichung für Achse und Rand nahe 0, für etwa die Zone $0{,}707\,R$ ein Maximum ist; dieser Fall liegt mathematisch besonders bequem. Wir setzen in meiner Studie „Zonenfehler und Wellenflächen" (*diese Zeitschr.* **20.** *S. 267. 1900*) den Oeffnungshalbmesser $= R$, die Brennweite $= p$, im Uebrigen die Verbiegung der Wellenfläche $\Delta = 0$ für $\mathfrak{R} = R$ bezw. δ für $\mathfrak{r} = R : \sqrt{2} = 0{,}707\,R$, erhalten $\mathfrak{M} = 4\,\delta : R^2$ bezw. $\mathfrak{N} = 4\,\delta : R^4$ und für eine *beliebige* Zone $r = \vartheta\,R$, wobei ϑ ein echter Bruch ist, die Verbiegung der Wellenfläche gegen die Kugelfläche von gleicher Krümmung mit Bezug auf die optische Achse (*mathematische Schmiegungskugel*) $dz = (-\vartheta^4 + 2\,\vartheta^6 : 3)\cdot\delta\cdot(R : p)^2$. Wir dürfen jedoch nicht in den Fehler verfallen, die Definitionshelligkeit im Krümmungszentrum der achsialen Region zu suchen, wir müssen das optische Maximum, d. h. das Krümmungszentrum der *optischen Schmiegungskugel* zu Grunde legen. Nach Analogie des Falles bei der reinen sphärischen Aberration werden wir als Optimum die „Schmiegungskugel" (im Sinne der Differenzenrechnung statt der Differentialrechnung) ansehen dürfen, welche die verbogene Wellenfläche in der Achse, der Zone $0{,}707\,R$ und der Randzone trifft. Für diese ist $dz = -(\vartheta^2 : 3)\cdot\delta\cdot(R : p)^2$. Genauere Untersuchungen hätten allzuweit geführt. Wir erhalten mithin für die Verlängerung bezw. Verkürzung des Lichtweges längs der Zone (ϑ) den Differenzausdruck

dz (verbogene Wellenfläche) — dz (optische Schmiegungskugel) $= (\vartheta^2 : 3 - \vartheta^4 + 2\,\vartheta^6 : 3)\cdot\delta\cdot(R : p)^2$.

Wir sehen, dieser Ausdruck wird 0 für $\vartheta = 0$ bezw. $\vartheta = 0{,}707$ bezw. $\vartheta = 1$. Diese Veränderungen der Lichtwege sind nach obigen Grundsätzen zu behandeln. Ein Beispiel:

ϑ	$\Delta : \lambda$	φ	cos	sin	z	zc	zs
1	0	0°	+ 100	+ 0	39	+ 39	0
0,9	+ 0,050	+ 18°	+ 95	+ 31	72	+ 68	+ 22
0,8	+ 0,034	+ 12°	+ 98	+ 21	64	+ 63	+ 13
0,7	— 0,003	— 1°	+ 100	— 02	56	+ 56	— 01
0,6	— 0,034	— 12°	+ 98	— 21	48	+ 47	— 10
0,5	— 0,049	— 17 1/2°	+ 95	— 30	40	+ 38	— 12
0,4	— 0,048	— 17°	+ 96	— 29	32	+ 31	— 09
0,3	— 0,035	— 12 1/2°	+ 98	— 22	24	+ 23	— 05
0,2	— 0,019	— 7°	+ 99	— 12	16	+ 16	— 02
0,1	— 0,005	— 2°	+ 100	— 03	08	+ 08	— 00
0	0	0°	+ 100	— 0	01	+ 01	0
					400	+ 390	— 04
			95% = 152 :		160	152	00

Während oben der Oeffnungshalbmesser gleich 60 war, ist er hier 20; z sind die (unter Weglassung von π) verhältnissmässigen Flächen der Zonen mit den mittleren Radien $\vartheta = 0{,}1$; 0,2 u. s. w. bis 0,9; 1. Auf diese Weise wurde folgende Tabelle gewonnen ($\lambda = 500\,\mu\mu$ vorausgesetzt).

Oeffnung :	Brennweite	1 : 10	1 : 14,14	1 : 20	$\mathfrak{Z}$	($\mathfrak{A}$)
$\pm\delta$ in *cm*	für die Zone	1/4	1/2	1 *cm*	01	
$\pm\delta$ in *cm*	$0{,}707\,R$	1/8	1/4	1/2	45	(55)
$\pm\delta$ in *cm*	δ Achse $= 0$	1/16	1/8	1/4	82	(87)
$\pm\delta$ in *cm*	δ Rand $= 0$	1/32	1/16	1/8	95	(97)

[1]) H. Lehmann, Anwendung der Hartmann'schen Methode u. s. w. *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 103. 1902.*

Unter $\mathfrak{Z}$ stehen die Werthe für die Definitionshelligkeit im günstigsten Punkt, falls sich δ auf die Zone 0,707 R bezieht, unter ($\mathfrak{A}$) die für reine sphärische Aberration geltenden, falls sich δ auf die Randzone beziehen würde. Wir sehen, der Unterschied ist auffallend gering. Wir kommen mithin zu dem wichtigen Schluss:

Die Hauptfehler mittlerer und grösserer Fernrohre sind chromatische Aberration der Vereinigungsweiten einerseits (dies habe ich schon früher berechnet) *und mechanische Zonenfehler andererseits.*

Bei meinen Berechnungen wurde mir eine ausgiebige Unterstützung seitens Hrn. Karl Hirschmann in liebenswürdigster Weise zu Theil; ich hätte die Arbeit allein nicht zu bewältigen vermocht. Ihm gebührt deshalb ein wesentlicher Antheil an obigen Resultaten und mein verbindlichster Dank auch an dieser Stelle.

Referate.

Der Bruce-Spektrograph der Yerkes-Sternwarte.

Von E. B. Frost. *Astrophys. Journ.* ***15.*** *S. 1. 1902.*

Zur ursprünglichen Ausrüstung des grossen Refraktors (40 *inch* = 1016 *mm* Oeffnung) der Yerkes-Sternwarte gehörte ein Universal-Spektralapparat, der durch Verstellung bezw. Auswechselung einzelner Theile für optische und photographische Beobachtungen an verschiedenen Stellen des Spektrums eingerichtet werden konnte. Mit diesem Apparate wurden unter Anderem von Hale und Ellerman werthvolle Untersuchungen über die Spektra vom IV. Typus ausgeführt. Für spektrographische Messungen von höchster Schärfe, wie sie jetzt zur Bestimmung der Sterngeschwindigkeiten in der Gesichtslinie benutzt werden, erwies sich das Instrument jedoch als zu wenig stabil. Man entschloss sich daher, nach dem Vorbilde anderer Observatorien eigens für diesen Zweck einen neuen Spektrographen zu bauen, der durch grosse Festigkeit aller Theile sowie durch die Anbringung einer Heizvorrichtung möglichste Unveränderlichkeit des optischen Apparates während der Aufnahmen verbürgte. Die Mittel zum Bau dieses Instrumentes (etwa 10000 Mark) stiftete Miss Bruce im Herbst 1899; ausserdem standen noch etwa 2000 Mark aus der Rumford-Stiftung zur Verfügung. Der Entwurf der Konstruktion rührt von Prof. Hale und Prof. Frost her, und bei der weiteren Ausführung leistete Hr. Ritchey wesentliche Hülfe.

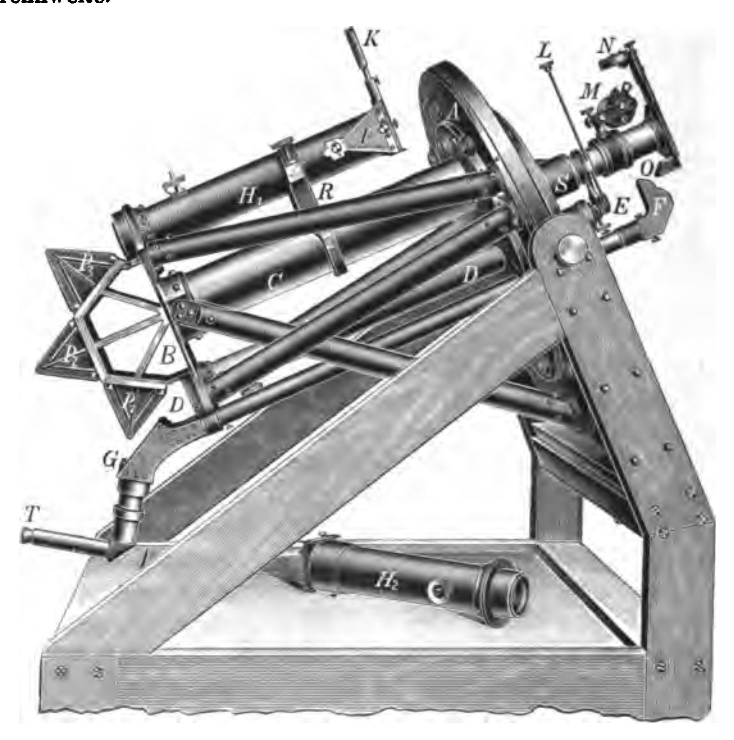
In der richtigen Einsicht, dass die ganze Lichtstärke des Refraktorobjektivs nur dann völlig nutzbar zu machen sei, wenn man durch grosse Brennweite des Kollimatorobjektivs das Arbeiten mit hinreichend weiten Spaltöffnungen ermöglichte, wurde bei dem neuen Spektrographen der Kollimator möglichst lang gewählt. Die Oeffnung des in die Prismen eintretenden Strahlenbüschels wurde auf 2 *inch* (51 *mm*) festgesetzt, da frühere Erfahrungen die Anwendung noch grösserer Prismen nicht rathsam erscheinen liessen. Da das grosse Objektiv die Oeffnung f: 19 besitzt, so ergab sich hieraus für das Kollimatorobjektiv eine Brennweite von 38 *inch* (965 *mm*). Ferner entschloss man sich, für den Mittelstrahl, der die Prismen im Minimum der Ablenkung durchsetzt, nicht, wie bei allen bisherigen Sternspektrographen, die Wellenlänge 4340 ($H\gamma$), sondern die Wellenlänge 4500 anzunehmen, da in der Nähe dieser Strahlengattung das Maximum der photographischen Wirkung der Lichtstrahlen, welche durch die dicke Glasmasse des Refraktorobjektivs und der Prismen gegangen sind, liegt.

Nach diesen grundlegenden Festsetzungen wurden die optischen Theile folgendermaassen gewählt. Der Kollimator erhielt ein dreitheiliges, verkittetes Objektiv von 51 *mm* Oeffnung und 958 *mm* Brennweite (von Brashear); es ist dies der grösste bisher an einem Sternspektroskop zur Verwendung gekommene Kollimator. Nachdem drei aus der Glassorte Nr. 3814 von Mantois hergestellte Prismen sich als nicht genügend homogen erwiesen

hatten, wurde für drei neue Prismen das Silikat-Flint O. 102, welches auch für die Prismen der neuen Potsdamer Spektrographen verwendet worden ist, bei Schott & Gen. in Jena bestellt. Aus diesem Glase stellte dann Brashear drei neue gleichschenklige Prismen von folgenden Dimensionen her:

	Prisma I	Prisma II	Prisma III
Brechender Winkel . . .	63° 35′ 40″	63° 31′ 35″	63° 36′ 20″
Höhe	57 *mm*	57 *mm*	57 *mm*
Basislänge	120 „	130 „	140 „
Seitenlänge	114 „	123 „	133 „

Für die photographische Kammer wurden zwei verschiedene Objektive gewählt, ein Zeiss-Anastigmat Serie II Nr. 9 von 71 *mm* Oeffnung und 449 *mm* Brennweite und eine nach Angaben von Prof. Hastings konstruirte dreifache, verkittete Linse von 76 *mm* Oeffnung und 607 *mm* Brennweite.



Die mechanische Konstruktion des Apparates weicht in vielen Punkten von der Form der bisherigen Sternspektrographen ab. Dieselbe ist aus der beigefügten Abbildung ersichtlich.

Mit der etwa 2 Zentner schweren, durchbrochenen, gusseisernen Grundplatte *A* von $^3/_4$ *m* Durchmesser ist als Hauptträger der optischen Theile die Mittelsäule *C* sehr fest verbunden. Diese besteht aus einem 71 *cm* langen Stahlrohr von 14 *cm* Durchmesser und 6 *mm* Wandstärke. Sie trägt an ihrem Ende ein zweites Gussstück *B*, mit welchem das Gestell für die Prismen P_1, P_2 und P_3, der Kollimator *D* und die Kamera H_1 fest verbunden sind. Der Kollimator hat seinen zweiten Stützpunkt im Zentrum der Platte *A*, über welche er 23 *cm* bei *E* hervorragt. Die Kamera wird durch das Verbindungsstück *R* fest an die Mittelsäule angeschlossen. Eine äusserst stabile Verbindung zwischen den Platten *A* und *B* wurde durch sechs schräg gestellte Stahlrohre geschaffen, die bei dem grossen Durchmesser der Platte *A* mit ihren Fusspunkten auf derselben so weit auseinandergespreizt werden konnten, dass dadurch ein grosse Sicherung gegen Biegung in allen Lagen des Instruments erreicht ist. Die von der bisherigen Sitte abweichende Befestigungsart der Prismen hat den grossen Vorzug völliger Symmetrie in Bezug auf die optische Hauptebene des Spektrographen; doch scheint es dem Ref., dass das Prismengestell gegen seitliche Biegung, senk-

recht zur Hauptebene nicht hinreichend gesichert ist. Bei der neuen Befestigungsweise befinden sich drei Flächen jedes Prismas nahe an den Eisenplatten des Prismengehäuses, nur durch dünne Isolirschichten von ihnen getrennt. Dass hierdurch eine schädliche thermische Einwirkung auf die Prismen entstehen könnte, ist kaum zu befürchten, da während der Aufnahmen die Temperatur des ganzen Apparates konstant gehalten wird.

Von den Hülfseinrichtungen des Apparates seien noch folgende erwähnt. Vor dem bei *E* befindlichen Spalte ist ein Schieber mit Oeffnungen zur seitlichen Begrenzung der Linien des Vergleichsspektrums angebracht. Der Schieber, der durch den Trieb *L* bewegt wird, ist gänzlich vom Kollimatorrohre getrennt und wird nur durch einen an der Säule *S* befestigten Arm getragen. Hierdurch ist die Gefahr vermieden, dass bei Bewegung des Schiebers ein Druck auf den Kollimator ausgeübt und dadurch seine Lage verändert werden könnte. Weiterhin trägt die Säule *S* die Vorrichtungen zur Erzeugung des Vergleichsspektrums. Zwischen den Wänden der Trommel *M* sind drei Paare von Metallelektroden sowie eine kleine Geissler'sche Röhre montirt. Durch Drehung der Trommel kann man nach Belieben entweder die Röhre oder eine der Funkenstrecken zwischen den Elektroden in den einen Brennpunkt des elliptischen Hohlspiegels *N* bringen. Dieser Spiegel wirft die Strahlen so zurück, dass sie sich in seinem anderen Brennpunkte vereinigen; die Strahlen gehen durch eine Oeffnung der Säule *S*, werden von dem Planspiegel *O* reflektirt und vereinigen sich in der Ebene des Spaltes. Gegenüber der anderwärts üblichen Benutzung einer Konzentrationslinie kann Ref. in der Anwendung des elliptischen Reflektors durchaus keine Verbesserung erblicken. Es ist bei dieser Vorrichtung unvermeidlich, dass ein grosser Theil der vom Funken, also von einer fast punktförmigen Lichtquelle, ausgehenden Strahlen direkt auf den Spalt fällt. Diese Strahlen beleuchten nur einen kleinen Theil des Kollimatorobjektivs und können daher, wenn das optische System nicht völlig frei von Aberrationen ist, zu systematischen Verschiebungen zwischen Stern- und Vergleichsspektrum Anlass geben. Zur Beseitigung dieser Gefahr würde sich die Einsetzung einer Mattscheibe in die oben genannte Oeffnung der Säule *S* empfehlen. Während der Aufnahme des Sternspektrums wird der Schlitten, der die Spiegel *N* und *O* trägt, zurückgezogen, sodass die Strahlen vom Refraktorobjektiv ungehindert auf den Spalt gelangen können.

Besonders interessant ist die Vorrichtung, die das genaue Halten des Sternbildes auf dem Spalte während der Aufnahme ermöglicht. Die genau planen Aussenflächen der Spaltbacken sind spiegelnd polirt und so konstruirt, dass sie nicht in einer Ebene liegen, sondern einen Winkel von 185° 47′ mit einander bilden. Die Normalen der Spiegelflächen liegen symmetrisch zur optischen Achse des Refraktors, und das auf diese Spaltbacken auffallende Licht des Sterns wird daher in zwei je 5° 47′ gegen die optische Achse geneigten Strahlenbüscheln zurückgeworfen. Diese Strahlenbüschel werden von zwei kleinen in dem „Gänsekopf" *F* montirten rechtwinkligen Reflexprismen aufgenommen, zwischen denen Raum für den Durchgang des ganzen vom Refraktorobjektiv kommenden Strahlenkegels gelassen ist. Von den kleinen rechtwinkligen Prismen gelangen die Strahlenbüschel auf ein grösseres, welches sie nach *G* hin reflektirt. Auf dem Wege von *F* nach dem in *G* befindlichen Planspiegel werden die Strahlen innerhalb jedes der beiden Büschel durch zwei Sammellinsen parallel gemacht, sodass man nach ihrer Reflexion in *G* durch das auf unendlich eingestellte, rechtwinklig gebrochene Halterohr *T* ein scharfes Bild der Spaltbacken und des darauf befindlichen Sternscheibchens erblickt. Der Planspiegel bei *G* lässt sich zur Seite drehen, und durch die so am Knie *G* entstehende Oeffnung fallen alsdann die von der ersten Fläche des Prismas P_1 reflektirten Strahlen in das Halterohr. Durch einfaches Umklappen des Spiegels *G* kann daher der Beobachter nach Belieben zwischen der Vogel'schen und der Huggins'schen Haltemethode wechseln. Zum ersten Einstellen des Sterns vor der Aufnahme seines Spektrums dient ausserdem noch das gebrochene Mikroskop *K*, welches in den Kassettenhalter *I* eingeschoben wird.

Soll der Spektrograph an den Refraktor angesetzt werden, so wird er mit dem Wagen, auf dem er, wie in der Abbildung ersichtlich, ruht, an das Okularende des auf

den Stundenwinkel 0^h und die Deklination -25^0 eingestellten Instrumentes, nachdem der bewegliche Fussboden des Kuppelraumes auf seine höchste Stellung gehoben ist, herangefahren. In dieser Lage lässt sich die Anschlagfläche der Platte *A* in genauen Kontakt mit dem Auszug des Refraktors bringen, und durch Drehen an einem Trieb wird dann das gleichzeitige Eingreifen von acht Haken bewirkt, welche beide Theile fest mit einander verbinden.

Zum Schutz gegen Temperaturschwankungen wird der ganze Spektrograph in ein doppelwandiges Gehäuse aus Aluminiumblech eingeschlossen. Der 12 *mm* weite Zwischenraum der Wandung ist mit Filz ausgefüllt. Im Innern des Gehäuses sind Neusilberdrähte ausgespannt, die eine elektrische Heizung des Apparates ermöglichen. Die Regulirung des Stromes wird vom Beobachter ausgeführt auf Grund der Ablesungen an zwei Thermometern, die sich innerhalb und ausserhalb der Prismenbüchse befinden.

J. Hartmann.

Ausmessung der Sternörter auf photographischen Platten.

Von M. Loewy. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 381. 1902.*

Bei der seit einer Reihe von Jahren in Angriff genommenen photographischen Aufnahme des Himmels wird behufs Ausmessung der Platte auf diese auch ein Koordinatennetz, bestehend aus Quadraten von etwa 5 *mm* Seitenlänge, photographirt, dessen Original mit äusserster Sorgfalt ausgemessen worden ist. Misst man die Abstände eines Sternes von den vier Seiten des Quadrats, in welchem er steht, und wiederholt die Messung, nachdem man die Platte um 180^0 gedreht hat, so glaubte man gegen systematische Fehler sich vollständig gesichert zu haben. Wie Verfasser jedoch durch Versuche hat feststellen können, ist dies keineswegs der Fall. Er benutzte eine von P. Henry aufgenommene Platte, auf welcher ein und dasselbe Stück des Himmels von etwa 2^0 Durchmesser dreimal photographirt war. Der Abstand zwischen den Bildern eines Sternes bei den beiden äusseren Expositionen war etwa gleich der Seite eines Quadrats. Jede dieser drei Aufnahmen war aber, wie dies auch bei den Aufnahmen für die projektirte Himmelskarte der Fall ist, wieder eine dreifache, indem in Folge geringer Verstellung des Rohres von jedem Stern wieder drei ganz nahe bei einander stehende, ein kleines Dreieck einschliessende Bildchen entworfen wurden, sodass im Ganzen jeder Stern neunmal auf der Platte abgebildet war. Die zahlreichen, an allen Stellen der Platte hierbei auftretenden gleichen Distanzen von Sternen mannigfacher Helligkeiten gaben dem Verf. für die Ausmessung der Platte ein ausgezeichnetes Prüfungsmittel ab. Die Resultate von allgemeinerem Interesse formulirt Verf. in einer Reihe von Sätzen, deren wesentlichster Inhalt folgender ist.

Die an den verschiedenen Stellen ungleiche Empfindlichkeit der Gelatineschicht und die bei der Entwickelung hervorgerufenen Verzerrungen derselben äussern einen ungünstigen Einfluss auf das Messungsresultat, besonders bei den beiden letzten noch erkennbaren Grössenklassen, während bei den helleren Sternen mehr die Messungsmethode ins Gewicht fällt. Die geradlinigen Koordinaten ergeben sich bei schwachen und bei hellen Sternen aus der gleichen Anzahl von Messungen mit gleicher Genauigkeit. Trotz der Verlängerung der Sternscheibchen von der Mitte nach dem Rande hin können die Sternörter doch in ziemlich weitem Umfang noch mit gleicher Genauigkeit ausgemessen werden. Von den Sternen der beiden letzten auf der Platte noch erkennbaren Grössenklassen lässt sich weder die Helligkeit noch der Ort sicher bestimmen, gleichgültig, von welcher Firma die Platte bezogen oder wie lange sie exponirt worden ist. Das Gesetz für die Abnahme des Bilddurchmessers bei geringerer Helligkeit stimmt nicht mehr für die beiden letzten Grössenklassen, indem hier der Durchmesser rascher abnimmt. Um von den Sternen bis zu einer gewissen Grössenklasse den Ort und die Helligkeit sicher bestimmen zu können, muss man daher die Expositionsdauer so wählen, dass mindestens noch die Sterne der nächsten, besser aber der beiden nächsten Grössenklassen auf der Platte zum Vorschein kommen. Dieselben Gesetze, nach welchen die Zuverlässigkeit der gemessenen Sternörter von der Helligkeit

der Sterne abhängt, gelten auch für die durch bewegte Körper auf der Platte hinterlassenen Striche. Wenn man eine mehrfache Aufnahme macht, sodass die verschiedenen Bildchen desselben Sternes nahe bei einander auf einer geraden Linie liegen, so lässt sich, wenn die Richtung dieser Linie mit einer der beiden Koordinatenrichtungen zusammenfällt, diese Koordinate mit doppelt so grosser Genauigkeit messen als die dazu senkrechte. Man müsste daher, um die beiden Koordinaten bei einer mehrfachen Aufnahme gleich genau zu bestimmen, für die verschiedenen Expositionen die Platte unter 45° gegen die Koordinatenrichtungen bewegen. *Kn.*

Neue Schneidenradplanimeter.

Nach den Instrumenten und einem Prospekt.

Vor Kurzem ist eine neue Abart des Prytz'schen Planimeters (vgl. die Notiz von Hammer in *dieser Zeitschr.* ***15.*** *S. 90. 1895*) im Handel erschienen, konstruirt von H. Fieguth in Langfuhr-Danzig, ausgeführt von Mechaniker Grotthaus in Danzig. Da ich mit den für die geodätische Sammlung der Technischen Hochschule Stuttgart bezogenen Exemplaren der zwei Ausführungen zufrieden bin, möge hier mit einigen Worten auf das Instrument eingegangen werden.

Die Prytz'sche Beilschneide ist, wie bei vielen andern Abarten des „Stangenplanimeters" ebenfalls (Kleritj, Hamann, Maffiotti-Collo, Lippincott u. A.), durch eine Rolle mit schneidendem Rand (Schneidenrad) ersetzt. Das Instrument ähnelt am meisten dem Lippincott'schen Planimeter (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* ***20.*** *S. 152. 1900*), indem auch hier das Schneidenrad lose auf einer Welle sitzt und demnach beim Umfahren der zu bestimmenden Fläche sich normal zu seiner Ebene verschiebt. Der mit dem Fahrstift umfahrene Flächeninhalt ist dann gleich der Entfernung Fahrstift—Rollenrand mal der Querverschiebung der Rolle. Der Unterschied zwischen dem Instrument und den seitherigen Stangenplanimetern ist der, dass es durch einen Polarm geführt wird.

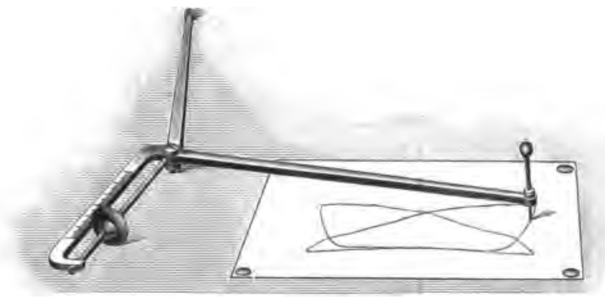


Fig. 1.

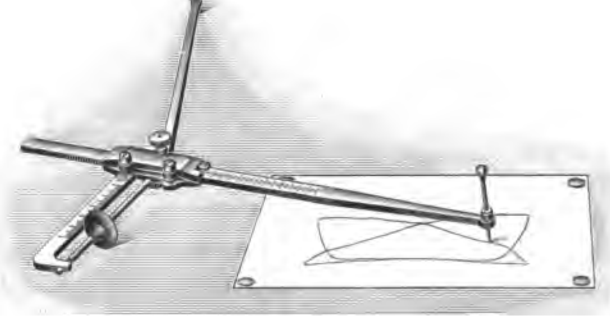


Fig. 2.

Das Instrument ist vor Allem zum Messen von Schieberdiagrammen bestimmt. Es wird in zwei Ausführungen hergestellt (vgl. Fig. 1 u. 2), die eine mit festem, die andere mit verstellbarem Fahrarm; am Quersteg kann die Verschiebung der Rolle unmittelbar abgelesen werden, die Skale daselbst enthält 80 Theile, die bei der Länge des festen Fahrarms am ersten Instrument je 1 *qcm* entsprechen.

Mit beiden Instrumenten können Flächen bis 80 *qcm* umfahren werden. Der Verfasser empfiehlt, vor jeder Umfahrung das Schneidenrad auf 0 der Skale am Quersteg zu stellen; es wird besser sein, es nur ganz in die Nähe von 0 zu stellen, die Ablesung zu machen (was rascher geschehen kann als die ebenso scharfe Einstellung auf 0) und sie von der Endablesung abzuziehen.

Ein Vorzug des Instruments vor dem Polarplanimeter mit Rolle und Zählwerk ist der des etwas geringern Preises (15 M. für die erste, 25 M. für die zweite Ausführung); dagegen

giebt das Instrument geringere Genauigkeit und ist auf kleinere Flächen beschränkt als das Polarplanimeter; man muss sich immer erst überzeugen, ob die Querverschiebung der Rolle ausreicht (die ähnliche Probe beim Polarplanimeter ist rascher zu machen). Ferner ist der Unterschied im Preis gegen das einfache Polarplanimeter nicht mehr gross, wenigstens bei der zweiten Ausführung; dagegen ist wieder das Schneidenrad vielleicht darin etwas im Vortheil, dass bei der Rolle des Polarplanimeters die Lagerung der Rollenwelle (in Körnern) leicht Anlass zur Störung in der richtigen Wirkung des Instruments giebt.

Für seine spezielle Anwendung, Messung der Diagramme von Dampfmaschinen, kann das neue Instrument empfohlen werden. *Hammer.*

Ueber die Messtischtachymetrie.

Von V. Soldati. *Rivista di Topogr. e Catasto* ***13.*** *S. 177. 1900/01.*

Der Verf. geht von mehreren Mängeln des Viotti'schen tachymetrischen Messtischapparats aus. An seiner eignen Tachymeterkippregel, die er in Wort und Abbildung vorführt, werden nicht die Höhenwinkel abgelesen, der Höhenkreis ist vielmehr ersetzt durch einen Berechnungssektor mit Abakus. Setzt man die Generatrix (*numero generatore*)

$$g = \frac{o - u}{2 \operatorname{tg} \beta} \quad \text{. . . . . 1)}$$

wo (ich führe die bei uns üblichen Bezeichnungen ein statt der vom Verf. angewandten und suche seine z. Th. nicht leicht verständliche Darstellung zu vereinfachen) o und u die Ablesungen an der vertikal stehenden Latte am obern und untern Faden des entfernungsmessenden Porro'schen Fernrohrs und 2β den ganzen mikrometrischen Winkel bezeichnen, so ist, wenn ferner z die Zenithdistanz der Zielung über den Mittelfaden, e die gesuchte Horizontaldistanz und h der Höhenunterschied zwischen Kippachse und Mittelfaden-Lattenpunkt ist, zunächst

$$e = g \sin^2 z \quad \text{. . . . . 2)}$$

oder

$$g = \frac{e}{\sin^2 z} \quad \text{. . . . . 3)}$$

Der Verf. trägt nun die durch Gl. 3) in den Polarkoordinaten (g, z) dargestellte Kurvenschaar, die man erhält, wenn dem e verschiedene konstante Werthe beigelegt werden, auf seiner Berechnungsplatte (Sektor mit dem Mittelpunkt in der Kippachse) auf und zwar für die Vertikalwinkel von $z = 60^g$ bis zu $z = 140^g$ (d. h. für Höhenwinkel von $+40^g$ bis -40^g gleich $+36^\circ$ bis -36°). Die so erhaltenen Kurven sind symmetrisch zu der $z = 100^g$ entsprechenden Mittellinie; sie sind mit dem Intervall 1 *m* gezogen von 5 *m* bis zu 200 *m*. Man erhält damit einen Abakus, dem man mit den Argumenten z und g den Werth von e entnehmen kann: auf einem um die Kippachse mit dem Fernrohrkippen selbstthätig sich drehenden Lineal ist die gleichmässige g-Theilung angebracht in demselben Maassstab, der der ganzen Berechnungstafel zu Grunde liegt; ist dieser von der Kippachse ausgehende Vektor auf die Zenithdistanz z gerichtet, so liest man an seinem Punkt g in der Kurvenschaar den Werth von e ab. Für $z = 100^g$ stimmen die von den Individuen der e-Kurvenschaar auf der Mittel- oder Nulllinie gemachten Abschnitte mit der g-Theilung überein.

Da ferner

$$h = g \cdot \sin z \cos z \quad \text{. . . . . 4)}$$

oder

$$g = \frac{h}{\sin z \cos z} \quad \text{. . . . . 5)}$$

ist, so erhält man mit konstantem Werth des Parameters h aus 5) in den Polarkoordinaten (g, z) ein zweites Kurvensystem, an dem man auf demselben Weg bei gegebenen (g, z) den Werth von h ablesen kann.

Ueber das erste Kurvensystem, die e-Kurvenschaar, ist schon Einiges angedeutet; die äussern Individuen haben, soweit sie auf dem Abakus Raum finden, nahezu Kreisbogenform. Beim zweiten System, den h-Kurven, sind die Individuen in den äussern Theilen in roher

Näherung parallel zur Mittellinie, wenden sich aber weiter gegen den Nullpunkt zu ungefähr hyperbolisch von dieser ab; auch die h-Linien sind von Meter zu Meter gezogen.

Um übrigens Verwirrung in den zwei Kurvenschaaren des Berechnungssektors in der Nähe des Nullpunkts zu vermeiden, setzt der Verf. an die Stelle der Gleichungen 3) und 5) die Gleichungen

$$g + C = \frac{e}{\sin^2 z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

$$g + C = \frac{h}{\frac{1}{2}\sin^2 z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7)$$

und wählt für C den Werth 30; der Zeichnung ist der Maassstab 1:1000 zu Grund gelegt. Der Sektor hat demnach, wenn er bis zu $g = 200$ ausgedehnt werden soll, im Ganzen 230 *mm* Halbmesser (übrigens sind auf einem noch etwas weiter nach aussen liegenden Rand auch die z angegeben), die e- und die h-Kurven sind, wie schon angedeutet, von Meter zu Meter gezogen. Als Material der Sektorplatte ist vernickeltes Messing gewählt und die Kurven sind nach einer „mit äusserster Sorgfalt“ entworfenen Originalzeichnung in 1:500 auf die Hälfte verkleinert durch Photogravüre auf die Platte übertragen. Der Verfasser bildet die Platte in natürlicher Grösse ab; sie soll sich genügend unempfindlich gegen Witterungseinflüsse gezeigt haben. Die an der Kippachse befestigte Regel zur Ablesung am Punkt g wurde nicht in die durch Kippachse und Ziellinie gehende Ebene gelegt, weil so die Ablesung durch das Fernrohr selbst gehindert worden wäre (übrigens hätte wohl dieses Lineal nicht auf derselben Seite wie das Fernrohr angebracht zu werden brauchen); es ist vielmehr ein gewisser konstanter Winkel zwischen der Linealkante und der Ziellinie vorhanden, sodass um seinen Betrag bei horizontaler Ziellinie des Fernrohrs die Mittellinie der Platte ($z = 100^g$, $\alpha = 0$) nach oben gerichtet ist. Der Sektor ist an seiner vordern untern Ecke mit der Kippregel (Alhidade) durch eine verstellbare Schraube verbunden.

In andern Dingen unterscheidet sich die Kippregel des Verfassers nur unwesentlich von andern bekannten Konstruktionen; das Instrument wird von Salmoiraghi in Mailand hergestellt. Erwähnenswerth ist noch ein vom Verf. *„acchimetro“* genannter Rahmen zur bequemen Messung der Instrumentenhöhe (Kippachse über Bodenpflock).

Der Verf. führt noch zwei grössere Aufnahmen an, die er mit seinem neuen Tachymetermesstisch ausgeführt hat: ein Geländestreifen von 10 *km* Länge und im Mittel 300 *m* Breite, als Vorarbeit für eine Gebirgsbahn und ein Streifen von etwas weniger als 3 *km* Länge und etwa 200 *m* Breite für einen Kanalbau; der Maassstab der Aufnahme war auch in der Lageplanzeichnung 1:1000. Die zur Aufnahme erforderliche Zeit betrug nun im Mittel beider Aufnahmen $20^1/_2$ Stunden wirklicher Feldarbeit pro *km* Länge (dazu kamen dann für die Ausarbeitung und Zeichnung noch 15 Std. pro *km*); der Verf. sagt aber nicht, wie viel Lagepunkte und Höhenpunkte dabei aufzunehmen waren, sodass der Vergleich mit andern Aufnahmen doch nicht vollständig möglich ist. In der Feldarbeitszeit ist Alles einbegriffen, vom Schlagen der Stationspflöcke an, z. B. auch ein gutes Nivellement dieser Polygonecken als Grundlage der Höhenaufnahme.

Der Verf. giebt mehrfach seiner Ueberzeugung Ausdruck, dass erst mit seinem Instrument die Messtisch-Topographie leistungsfähig geworden sei, indem sein Messtischapparat ohne Vergleich das beste Instrument dieser Art vorstelle; der Ref. kennt es nicht aus eigenem Gebrauch und will sich deshalb kein Urtheil erlauben. Man wird aber daran zweifeln können, ob die Ablesung von e und h am Punkt g der mit dem Kippen des Fernrohrs sich über die Berechnungsplatte weg drehenden Regel in den Kurvenschaaren der e und der h rascher gemacht werden könne als die Ablesung (ausser g an der Latte) des Höhenwinkels und dazu Aufsuchung von e und h in einer bequem eingerichteten Tachymetertafel oder an einem Tachymeterschieber. Aber eine interessante Konstruktion bleibt diese Ersetzung des Höhenkreises durch einen Abakus auf alle Fälle. *Hammer.*

Methode zum Studium der Sprachlaute und der Mikrophon-Ströme.

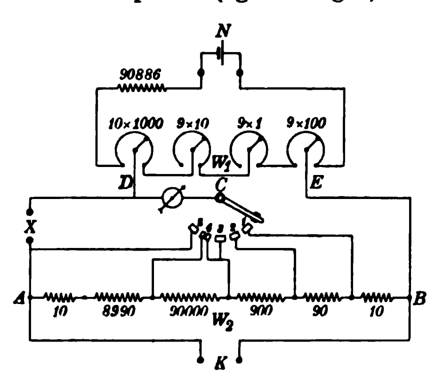
Von A. Blondel. *Compt. rend.* **133.** *S. 786. 1901.*

Um die Kurvenformen akustischer Schwingungen studiren zu können, werden dieselben zunächst mittels eines Mikrophones in elektrische verwandelt. Die Mikrophonströme werden dann unter Zwischenschaltung von Transformatoren einer Bogenlampe zugeführt. Die „singende Bogenlampe“ ist im Wesentlichen in der von Duddell angegebenen Weise geschaltet. Die Justirung muss so ausgeführt werden, dass der durch die Bogenlampe wiedergegebene Ton dem zu untersuchenden möglichst gleich ist. Der über den Bogenlampenstrom gelagerte Wechselstrom wird dann mittels eines Oszillographen (vgl. *diese Zeitschr.* **21.** *S. 239. 1901*) aufgenommen. Blondel hat nach dieser Methode Kurven für die Vokale *AEIOU* erhalten; die Resultate stimmen mit denen früherer Beobachter in der Hauptsache überein. *E. O.*

Neue Form des Thiermann'schen Kompensators.

Von P. Heyck. *Elektrotechn. Zeitschr.* **22.** *S. 871. 1901.*

Thiermann benutzt zu Spannungsmessungen in bekannter Weise einen aus Stromquelle und Widerstand W_1 zusammengesetzten Hülfsstromkreis, indem er gegen einen Theil dieses Widerstandes w_1 die zu messende Spannung oder einen dekadischen Bruchtheil derselben kompensirt (vgl. die Figur). Während aber gewöhnlich Akkumulatoren die Stromquelle für den Hülfsstromkreis bilden, benutzt Thiermann hierzu ein Weston'sches Normalelement mit niedrigem Widerstande (etwa 30 Ohm), wie sie in der Reichsanstalt hergestellt worden sind. Durch diese Methode wird allerdings eine Einstellung gespart (Regulirung des Kompensationsstromes), andererseits wird aber das Normalelement als Stromquelle benutzt, wozu Normalelemente nicht bestimmt sind. Wenn auch die Stromentnahme nur sehr gering ist, so ist doch bekannt, dass dadurch an den Elektroden Polarisationserscheinungen auftreten, die den Werth der elektromotorischen Kraft ändern.



Der Kompensator besteht aus zwei Stromschleifen, von denen die eine die Kompensationswiderstände, die andere (zwischen *A* und *B*) die Widerstände zur Spannungstheilung enthält. Der Kompensationskreis wird aus dem Normalelement *N*, dessen innerer Widerstand zu 34 Ohm angenommen ist, einem Vorschaltwiderstand von 90886 Ohm und 4 dekadischen Kurbelwiderständen von 10×1000, 9×100, 9×10, 9×1 Ohm gebildet. Je nach der Einstellung der beiden Mittelkurbeln schwankt also der gesammte Widerstand zwischen 101820 und 101919 Ohm. Wird die Spannung des Normalelementes zu 1,0187 Volt angenommen, so schwankt somit der Hülfsstrom um 5 Zehntausendstel um den Werth 1×10^{-5} Ampere. Der Kompensator ist somit nur für weniger genaue Messungen brauchbar, für die man viel bequemer Instrumente nach dem d'Arsonval-Typus verwendet; ferner ist er nur für eine spezielle Art von Normalelementen eingerichtet. Normalelemente der Weston Co., mit der elektromotorischen Kraft 1,0191 Volt und erheblich grösserem Widerstand, können nicht ohne Weiteres benutzt werden. Es ist dies ein Nachtheil der ganzen Anordnung, die den Vortheil, dass man *eine* Einstellung gegenüber den gewöhnlichen Kompensatoren spart, reichlich aufwiegt.

Die zu messende Spannung *K* wird durch einen Widerstand W_2 geschlossen und mit dem Kompensator, der direkt nur Spannungen bis zu 0,1 Volt zu messen gestattet, die Spannung an einer Unterabtheilung w_2 von W_2 ermittelt. Der Einfachheit halber ist $w_2 : W_2$ stets eine Potenz von 10. Dieser die Spannungsschleife bildende Widerstand W_2 besteht aus den Unterabtheilungen 10; 8990; 90000; 900; 90 und 10 Ohm. Durch die Hauptkurbel *C* werden die Widerstände w_2 abgeschaltet. Ist w_1 der an den Kurbeln des Kompensators eingestellte Widerstand, so erhält man folgende Tabelle:

Stellung der Hauptkurbel	W_2	w_2	K	Messbereich bis
1	100000	10	$w_1:10$	1000 Volt
2	100000	100	$w_1:100$	100 „
3	100000	1000	$w_1:1000$	10 „
4	10000	1000	$w_1:10000$	1 „
5	100000	100000	$w_1:100000$	0,1 „

Wie man sieht, erfährt die Anordnung der Widerstände w_2 in der Stellung 4 der Hauptkurbel eine Abweichung von dem sonst befolgten Prinzip. Diese Abweichung, die eine ziemliche Komplikation der Konstruktion zur Folge hat, ist allem Anschein nach getroffen worden, weil für die Anordnung $W_2 = 100000$, $w_2 = 10000$ die Empfindlichkeit des von Thiermann gewählten Galvanometers nicht ausreicht.

Man kann den Apparat auch als Wheatstone'sche Brücke schalten. An der durch X bezeichneten Stelle wird der zu messende Widerstand eingeschaltet; die vier Kurbeln zwischen D und E bilden den zweiten Zweig; im dritten Zweig liegt der Widerstand 10 (bei A), im vierten die Widerstände 10; 90; 900 der Spannungsschleife, und zwar so, dass dieser Zweig die Widerstände 10, 100 oder 1000 Ohm annehmen kann. Bei dem fertigen Apparate werden durch einen ziemlich komplizirten Kurbelschalter die verschiedenen Schaltungen als Wheatstone'sche Brücke und Kompensator bewerkstelligt. *E. O.*

Registrirapparate für schwache elektrische Ströme.

Von E. Brauer. *Zeitschr. f. phys. Chem.* ***38.*** *S. 441. 1901.*

In einer Arbeit wesentlich elektrochemischen Inhalts „Ueber das Verhalten des Chroms bei der Auflösung in Säuren" beschreibt der Verfasser einige zur selbstthätigen Registrirung kleiner elektromotorischer Kräfte (etwa bis zur Ordnung 0,001 Volt) konstruirte Vorrichtungen, welche sich bei den speziellen Zwecken, für die sie hergestellt worden sind, gut bewährt haben. Der Beschreibung dieser Apparate geht eine allgemeine Erörterung der Grundsätze voraus, welche für die Konstruktion derartiger Registrirapparate maassgebend sind.

Die benutzten Registrirapparate beruhen theils auf photographischen Methoden, theils sind sie mit einer mechanischen Schreibvorrichtung versehen. Von den ersteren sei die folgende Anordnung mitgetheilt.

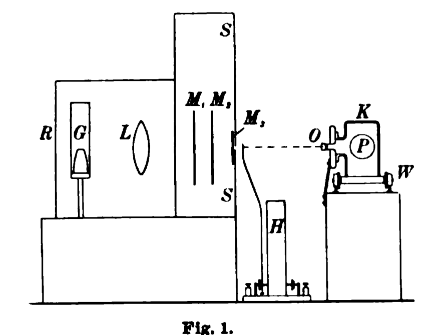


Fig. 1.

Bei H (Fig. 1) befindet sich das Galvanometer, ein Milliamperemeter nach d'Arsonval'schem Prinzip mit Spitzenlagerung, dessen Ausschlag zu registriren ist. Das Beleuchtungssystem bestand aus einer verstellbaren Gasglühlichtlampe G, aus einem parabolisch gebogenen Reflektor R aus Weissblech, einer Sammellinse L und einigen Mattscheiben M_1, M_2, M_3, von denen die letzte am Schwarzblech-Schirm S befestigt war; dieser und der Reflektor schlossen das Ganze möglichst lichtdicht ein. In der Mitte von S befand sich ein etwa 0,5 bis 1 *mm* breiter horizontaler Schlitz, der möglichst genau hergestellt war. Der verlängerte Zeiger des Galvanometers trug ein geschwärztes Glimmerblättchen mit einem vertikalen Schlitz von derselben Breite wie der horizontale. Der auf diese Weise bei der Kreuzung beider Schlitze entstehende leuchtende Punkt wurde durch eine Objektivlinse O auf die mit hochempfindlichem Papier bespannte bewegliche Walze P geworfen. Der Bewegungsmechanismus ist in Fig. 2 wiedergegeben.

Hier sind U_1 und U_2 die beiden die drehende und die seitliche Bewegung der Walze P hervorrufenden Uhrwerke, F ein dünner geglühter Kupfer- oder Silberdraht, der sich auf die Achse bei U_2 wickelt und den die Walze P und das Uhrwerk U_1 tragenden Wagen W

längs der Schienen NN entlang zieht und der durch das ziemlich schwere Gegengewicht E gespannt erhalten wird. K endlich ist der auch in Fig. 1 gezeichnete, das Objektiv O tragende Schutzkasten.

Der Gebrauch dieser Anordnung ist unmittelbar klar, ebenso wie der des folgenden, mit mechanischer Schreibvorrichtung versehenen Registrirapparates (Fig. 3).

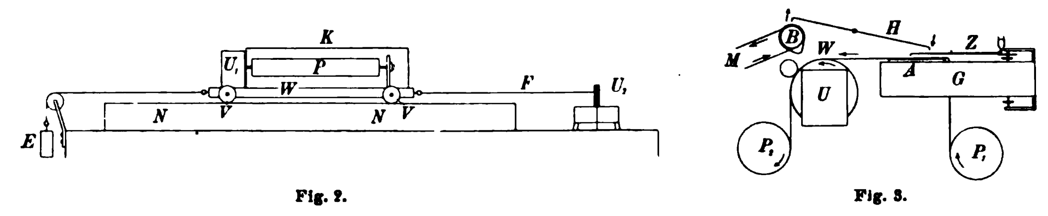


Fig. 2. Fig. 3.

Der Stahlmagnet des Galvanometers G trug eine Spiegelglasplatte A, über die ein Papierstreifen von P_1 nach P_2 mittels der durch das Uhrwerk U getriebenen Stundenwalze W bewegt wurde. Z ist eine kleine, an die Achse des Galvanometers gekittete gläserne Tintenfeder, die in der Ruhelage etwa 2 *mm* über der Glasplatte ruhte. Durch eine mit Hülfe des Motors M in Rotation versetzte Scheibe B mit Buckel wurde der Hebel H in bestimmten Zwischenräumen in Bewegung gesetzt, der den Zeiger Z niederdrückte, wodurch ein Punkt auf das Papier gezeichnet wurde. Die gute Dämpfung des Galvanometers liess eine Aufzeichnung in Intervallen von 2 bis 3 Sekunden zu. Es mag noch bemerkt werden, dass Motor und Buckelscheibe mit Erfolg durch eine Tropfenvorrichtung ersetzt wurde, bei der Wassertropfen durch Herunterfallen aus etwa 40 *cm* Höhe das Schreibwerk in Bewegung setzten.

In Bezug auf alle übrigen Einzelheiten der mechanischen Ausführung der beschriebenen Apparate und ihre Anwendung auf die im Titel der Arbeit angeführte elektrochemische Frage sei auf das Original verwiesen. *Rt.*

Neu erschienene Bücher.

P. Drude, Lehrbuch der Optik. gr. 8°. XIV, 498 S. mit 110 Abbildungen. Leipzig, S. Hirzel 1900. 10,00 M.; geb. 11,20 M.

Bei den Fortschritten, welche die Theorie der optischen Erscheinungen in den letzten Jahren gemacht hat, indem sowohl grössere Einheit in die Darstellung gebracht als auch neue Gebiete erschlossen wurden, hat wohl Mancher den Wunsch nach einem Lehrbuch gehabt, welches dem Leser den heutigen Stand der Forschung vermittelte und ihm das Eindringen in die neuere Spezialliteratur erleichterte. Ein solches Buch dürfte um so willkommenere Aufnahme finden, als es von einem Gelehrten verfasst ist, der sowohl an dem Ausbau der elektromagnetischen Lichttheorie hervorragenden Antheil genommen hat, als auch bereits bei dem Winckelmann'schen „Handbuch der Physik" mit der Darstellung einzelner Gebiete aus der Optik (Lichttheorien, Polarisationserscheinungen u. s. w.) beschäftigt war.

Da das Buch zur Einführung dienen soll, ist mit Recht die synthetische Form der Darstellung gewählt, bei der namentlich die Bedeutung der experimentellen Grundlagen der Theorie klarer hervortritt. Dementsprechend wird mit der geometrischen Optik begonnen, deren Sätze und Anwendungen im Anschluss an das „Lehrbuch der optischen Instrumente" von S. Czapski auf den ersten 100 Seiten behandelt werden; bei dem engen Raum sind die allgemeineren Resultate besonders betont.

Der erste Abschnitt der physikalischen Optik führt die Ueberschrift: Allgemeine Eigenschaften des Lichts. Kap. I (Fortpflanzungsgeschwindigkeit), II (Interferenz), V (Polarisation) beschäftigen sich vornehmlich mit den Grundvorstellungen und der analytischen Darstellung der Lichtbewegung; Kap. III bringt das Huyghens'sche Prinzip in seiner

historischen Entwicklung über Fresnel bis zu Kirchhoff; im Anschluss daran werden die Beugungserscheinungen zunächst nach der gewöhnlichen, angenäherten Theorie behandelt, zuletzt wird für den einfachsten Fall der Beugung an dem geradlinigen Rande eines Schirms die strenge Sommerfeld'sche Lösung gegeben, bei der die Differentialgleichung der Lichtbewegung unter Rücksicht auf die Randbedingungen für den Schirm integrirt wird. Entsprechende Berücksichtigung finden in diesem Abschnitt auch die wichtigeren Anwendungen der Interferenz- und Beugungserscheinungen: Interferenzapparate, Photographie in natürlichen Farben, Gitter- und Staffelspektroskop, Auflösungsvermögen optischer Instrumente, sekundäre Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte.

Der zweite Abschnitt handelt von den optischen Eigenschaften der Körper. Bisher konnten die Entwicklungen unabhängig davon, was man unter dem Lichtvektor versteht, geführt werden. Jetzt wird die elektromagnetische Lichttheorie als Grundlage gewählt, deren wesentliche Vortheile gegenüber den mechanischen Lichttheorien nach dem Verfasser die folgenden sind:

1. Die Transversalität der Wellen folgt direkt aus der von Maxwell gewonnenen einfachsten Darstellung der elektromagnetischen Vorgänge, nach der es nur geschlossene elektrische Ströme giebt.

2. Die Grenzbedingungen sind die in jedem elektromagnetischen Felde gültigen. Man braucht nicht, wie bei den mechanischen Theorien, besondere Annahmen für die Lichtschwingungen zu machen.

3. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts im leeren Raume (im freien Aether) und in manchen Fällen auch in ponderabelen Körpern lässt sich aus rein elektromagnetischen Experimenten im Voraus berechnen.

Es werden dann die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes und die Grenzbedingungen entwickelt. Bei der Aufstellung der ersteren unterscheidet der Verf. zwischen den „Körpergleichungen“ und den sechs „Grundgleichungen“, welche die Komponenten des elektrischen bezw. magnetischen Stroms als Funktionen der räumlichen Differentialquotienten der magnetischen bezw. elektrischen Kraftkomponenten darstellen. Während in diesen Gleichungen als Konstante nur die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum vorkommt, gehen in die Körpergleichungen die für die Körper charakteristischen optischen Konstanten ein.

Die einfachste Form nehmen die Körpergleichungen für durchsichtige isotrope Körper an, die im II. Kap. behandelt werden; aus der Theorie der Reflexion und Refraktion seien hier die Theile hervorgehoben, welche von der Erklärung der elliptischen Polarisation des reflektirten Lichts durch Oberflächen oder Uebergangsschichten und dem bei der Totalreflexion in das zweite Medium eindringenden Licht handeln. Für die Krystalle wird keine vollständige Theorie der Reflexion und Refraktion gegeben, indem der Verf. sich damit begnügt, die Lichtfortpflanzung in Krystallen und die Richtungsänderung der Strahlen an der Grenze derselben festzustellen, um damit die Interferenzerscheinungen von Krystallplatten zu erklären. Das nächste Kapitel über absorbirende Körper handelt hauptsächlich von der Metallreflexion und den Interferenzerscheinungen von Platten aus absorbirenden Krystallen.

Für die nun folgende Behandlung der Dispersion, der Erscheinungen bei natürlich und magnetisch aktiven, sowie bei bewegten Körpern werden die Grundlagen der Theorie durch Einführung der Ionenhypothese erweitert, die auch hier, ebenso wie auf anderen Gebieten der elektrischen Erscheinungen, sich als ein höchst fruchtbares Erklärungsprinzip erwiesen hat. Die von der ursprünglichen Maxwell'schen Theorie geforderten einfachen Beziehungen zwischen Dielektrizitätskonstante und Brechungsindex sowie Leitungsvermögen und Absorptionsindex müssen entsprechend der Mitwirkung der Ionen erweitert werden und vermögen nun als Führer durch die Mannigfaltigkeit der beobachteten Thatsachen zu dienen. Der dissymmetrischen Struktur der natürlich aktiven Körper entsprechend, nimmt man bei diesen an, dass die Ionen sich in kurzen, in einem Sinne gewundenen Schraubenlinien bewegen. Um die Erscheinungen bei den magnetisch aktiven Körpern zu erklären, benutzt

der Verf. zwei verschiedene Ansätze. Der erste geht von der Hypothese rotirender Ionen aus und untersucht die Veränderungen, die durch deren Kraftlinien hervorgebracht werden. In Uebereinstimmung mit der Erfahrung wird gefolgert, dass der Magnetisirungscharakter eines Körpers für den Drehungssinn nicht bestimmend ist, und eine Formel für die Rotationsdispersion im Gebiete normaler Dispersion abgeleitet. Diese Theorie versagt aber bezüglich der Rotationsdispersion in der Nähe eines Absorptionsstreifens und bezüglich des optischen Verhaltens senkrecht zur Magnetisirungsvorrichtung. Der zweite Ansatz benutzt die als Hall-Effekt sonst bekannte Wirkung magnetischer Felder auf bewegliche Ionen. Durch ihn werden normale wie anomale Rotationsdispersion, das optische Verhalten parallel und senkrecht zur Magnetisirung sowie die typischen Zeemann-Effekte dargestellt. Für die komplizirteren Erscheinungen scheint eine Verbindung der beiden Ansätze eine befriedigende Darstellung zu geben.

Für bewegte Körper wird die Theorie von H. A. Lorentz gegeben, welche sich auf die Hypothese stützt, dass zwar die Ionenladungen von der Bewegung des Körpers ergriffen werden, der zwischen ihnen liegende Aether aber vollständig in Ruhe bleibe, indem der Aether nicht als eine Substanz, sondern als der mit gewissen physikalischen Kräften ausgestattete Raum angesehen wird. Es ergiebt sich, dass die Bewegung der Erde keinen Einfluss auf die mit terrestrischen Lichtquellen erhaltenen Erscheinungen hat; es wird ferner das Doppler'sche Prinzip abgeleitet und eine Erklärung der Aberration des Lichts gegeben.

Der letzte Theil des Buches handelt von der Lichtstrahlung. Nachdem einige Grundbegriffe erläutert sind, wird der mechanische Druck der Strahlung mit Hülfe des Energieprinzips abgeleitet. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik dient als Ausgangspunkt für die Herleitung der wichtigsten Sätze für reine Temperaturstrahlung; dieselben geben den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption, die Gesammtstrahlung eines schwarzen Körpers als Funktion der Temperatur sowie die Vertheilung der Energie im Spektrum und deren Aenderung mit der Temperatur.

Die Lumineszenzerscheinungen, die beim Leuchten der Gase und Dämpfe eine wesentliche Rolle spielen, bieten wieder Gelegenheit zur Anwendung der Ionenhypothese und zur Berechnung der wichtigen Konstanten für die Masse, die Beweglichkeit und den Reibungswiderstand des Natrium-Ions. Ferner wird ein mit der Erfahrung annähernd übereinstimmender Werth für die Grenze der Interferenzfähigkeit bei grossen Gangunterschieden abgeleitet, indem die Verbreiterung der Spektrallinien berechnet wird, welche nach dem Doppler'schen Prinzip durch die fortschreitende Bewegung des das schwingende Ion tragenden Moleküls bedingt ist. *A. K.*

A. Baudot, *Recueil de problèmes d'Électricité.* 8°. Mit Fig. Paris 1902. Geb. in Leinw. 7,00 M.

E. Riecke, Lehrb. d. Physik. 1. Bd. Mechanik u. Akustik. Optik. gr. 8°. 2., verb. u. verm. Aufl. XVI, 534 S. m. 445 Fig. Leipzig, Veit & Co. 1902. 11,00 M.; geb. in Leinw. 12,00 M.

H. Erdmann, Lehrbuch d. anorganischen Chemie. 3. Aufl.; 5.—8. Taus. gr. 8°. XXXVIII, 788 S. m. 291 Abbildgn., 99 Tab., 1 Rechentafel u. 6 farb. Taf. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1902. Geb. in Leinw. 15,00 M.; in Halbfrz. 16,00 M.

L. Margat-l'Huillier, *Leçons de Physique. Pesanteur, chaleur.* 2. Ausg. 8°. VI, 276 S. m. Fig. Paris 1902.

Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. 8°. Leipzig, W. Engelmann. Kart.

1. H. Helmholtz, Ueb. d. Erhaltung der Kraft (1847). 6. Taus. 60 S. 1902. 0,80 M. — 124. H. Helmholtz, Abhandlungen zur Thermodynamik. Hrsg. v. Prof. Dr. M. Planck. 84 S. 1902. 1,40 M. — 126. u. 128. M. Faraday, Experimental-Untersuchgn. üb. Elektrizität. Aus den *Phil. Transact f. 1835 u. 1838.* Hrsg. v. A. J. v. Oettingen. (126.) IX.—XI. Reihe. 106 S. m. 15 Fig. im Text. 1901. 1,80 M.; (128.) XII. u. XIII. Reihe. 133 S. m. 29 Fig. im Text. 1901. 2,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **August 1902.** Achtes Heft.

Ueber neuere Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfür bestimmten Stereo-Komparator.

Von

Dr. **C. Pulfrich** in Jena.

(Mittheilung aus der optischen Werkstaette von Carl Zeiss.)

(Fortsetzung von S. 192.)

V. Versuche und Resultate.

Die in diesem Abschnitt zu besprechenden Versuche und Resultate liegen vorwiegend auf *astronomischem Gebiet.* In Anbetracht der fundamentalen Bedeutung dieser Dinge werde ich über sie auch in ihren ersten Anfängen berichten und daher zunächst mit einigen Worten auf den Entwickelungsgang des Verfahrens eingehen.

Als ich mich im Frühjahr 1900, angeregt durch die von verschiedenen Seiten zum Zwecke der Parallaxenbestimmung vorgenommene Untersuchung und Ausmessung photographischer Sternplatten, zu welchem Zwecke vielfach auch mit grösstem Nutzen der von der Firma C. Zeiss angefertigte Abbe'sche Komparator[1]) Anwendung gefunden hat, ernstlich der Idee einer praktischen Verwerthung des stereoskopischen Verfahrens für die Zwecke der Himmelsphotographie zuwandte, stand mir der stereoskopische Komparator im Grossen und Ganzen auch schon vollkommen klar vor Augen. Denn es waren ja nur die bei dem stereoskopischen Entfernungsmesser gewonnenen Erfahrungen in sinngemässer Weise auf die vorliegende Aufgabe in Anwendung zu bringen.

Um auch bezüglich der Dimensionen (Plattengrösse) und bezüglich der in Anwendung zu bringenden Mikroskopvergrösserung eine Entscheidung treffen zu können, habe ich mich im Mai 1900 an Hrn. Prof. Max Wolf in Heidelberg gewandt und ihn dieserhalb um Rath und um seine Mitwirkung bei der definitiven praktischen Erprobung des Instruments für astronomische Zwecke gebeten. Hr. Wolf hat sich sofort zu jeder wünschenswerthen Unterstützung bereit erklärt und sein Entgegenkommen, für das ich ihm meinen ganz besonderen Dank ausspreche, gleich dadurch bethätigt, dass er mir nach Empfang meiner Anfrage mehrere seiner Originalplatten (Plattenformat 13 × 18 *cm*) für die ersten Versuche zugeschickt hat. Es konnte daher sofort mit der definitiven Konstruktion des Apparates begonnen werden. Die Betrachtung der Sternbildchen mit Hülfe verschiedener Lupen bestätigte meine Vermuthung, dass derartige Photographien kaum mehr als eine 6-fache Vergrösserung vertragen, und ich bin daher bei dem Versuchsinstrument über die Vergrösserung 6-fach nicht hinausgegangen, obschon die Rücksichtnahme auf die Verwendung des Instruments

[1]) Vgl. meinen Aufsatz über dieses Instrument in *dieser Zeitschr.* **12.** *S. 307. 1892.*

für die Zwecke der Metronomie, welche ich damals vorwiegend mit im Auge hatte, die Anwendung stärkerer Vergrösserungen wünschenswerth erscheinen liess. Die Vergrösserung 6-fach hat sich auch später als durchaus zweckentsprechend erwiesen; sie ist die mittlere der drei Vergrösserungen (4-, 6- und 8-fach), mit denen die Mikroskope der neuen Modelle (vgl. *S. 75*) ausgerüstet sind. Die Vergrösserung 4-fach dürfte vorwiegend Verwendung finden für photogrammetrische Zwecke, die Vergrösserung 4-fach und 6-fach für astronomische und die Vergrösserung 8-fach für metronomische Aufgaben[1]).

a) Stereoskopbilder von Sternaufnahmen.

Versuche mit einem einfachen Stereoskop und Erläuterung des Saturnbildes. Bis zur Fertigstellung des Stereo-Komparators habe ich an den von Hrn. Prof. Wolf eingesandten Platten die *ersten Versuche* zur Erprobung des stereoskopischen Verfahrens für die Zwecke der Himmelsphotographie *mit Hülfe eines gewöhnlichen Stereoskopes* gemacht, der Art nämlich, dass von den Platten zuerst Abdrücke auf Papier hergestellt und diese bezw. ausgeschnittene Theile derselben dann zu Stereoskopbildern zusammengeklebt wurden. Die Betrachtung dieser Bilder unter dem Stereoskop zerstreute mit einem Schlage jeden Rest von Bedenken gegen das Zustandekommen des stereoskopischen Effektes, und es zeigte sich sofort, dass das Augenpaar sich in dem Gewimmel der Sternbildchen auf der photographischen Platte ebenso leicht zurecht findet, wie im freien Sehen bei der zweiäugigen Betrachtung des Sternhimmels oder irgend eines anderen Gegenstandes um uns.

Von den in dieser Weise hergestellten Stereoskopbildern ist eins von besonderem Interesse, denn es zeigt den *Planeten Saturn mit zweien seiner Monde freischwebend im Raum weit vor dem eine ebene Fläche bildenden Fixsternhimmel* (Fig. 16). Die diesem Stereoskopbild zu Grunde liegenden Aufnahmen des Sternbildes *ξ Ophiuchi* datiren vom 9. und 10. Juni 1899. Als Standlinie für die stereoskopische Betrachtung ist also der von der Erde auf ihrer Wanderung um die Sonne an einem Tage zurückgelegte Weg anzusehen. Die Suggestion, dass man bei der Betrachtung des Stereoskopbildes mit einem Augenabstand von $2^1/_2$ Millionen Kilometer in den Weltenraum hinausschaut, und der Effekt, dass man den Saturn von den Fixsternen losgelöst sieht, wirken bei jedem Beobachter, der das Bild zum ersten Male sieht, ausserordentlich überraschend, obschon für Jemanden, der sich mit dem Zustandekommen solcher Effekte näher beschäftigt hat, die Erscheinung gar nichts Auffälliges hat. Denn derartige Stereoskopbilder kann sich Jeder durch Zeichnung[2]) oder durch Nadelstiche in Papier selbst herstellen, was jedenfalls ausserordentlich lehrreich ist und wobei nur darauf zu achten ist, dass die beiderseitigen Bildpunkte, deren Abstand für jedes Punktpaar zwischen 45 und 65 *mm* willkürlich gewählt sein mag, rechts und links die gleiche Grösse und Höhe haben. Aber es macht einen leicht begreiflichen Unterschied, ob man den Effekt an künstlichen Nachbildungen oder an wirklichen Himmelsaufnahmen beobachtet. Eine besonders eindringliche Sprache reden in dieser Hinsicht die Platten selbst, wenn man sie mit dem für die Betrachtung der Platten in ihrer ganzen Ausdehnung bestimmten Spiegelstereoskop (Fig. 4, *S. 79*) betrachtet.

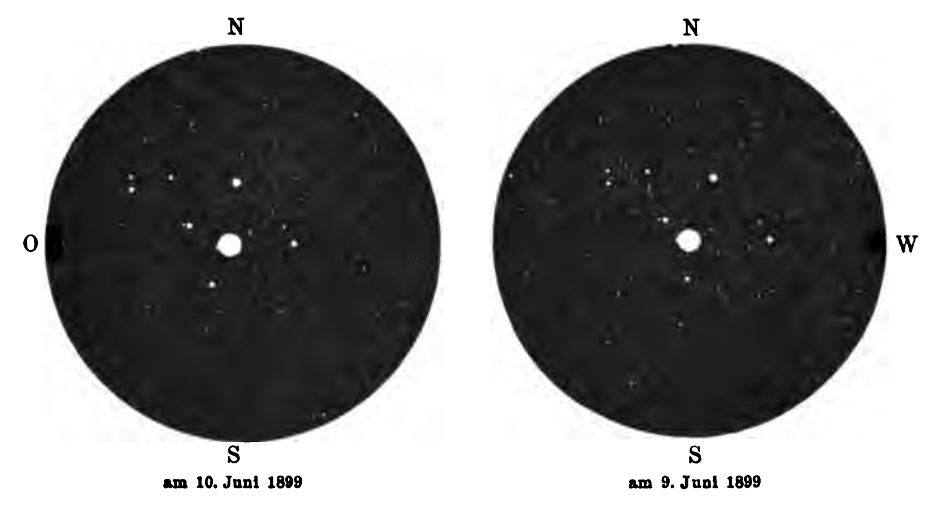
---

[1]) Bei dem oben erwähnten Abbe'schen Komparator habe ich aus Gründen der gleichen Art das früher mit einer 25-fachen Vergrösserung versehene Objekt-Mikroskop vor etwa 5 Jahren mit einer Einrichtung versehen, welche dem Beobachter gestattet, die Vergrösserung dieses Mikroskops zu vermindern und auf jeden Werth zwischen 5- und 25-fach einzustellen.

[2]) Vgl. die Gruppe 2 in der mehrfach erwähnten Prüfungstafel.

Dieses Saturnbild, welches in Heidelberg bei Gelegenheit der Astronomen-Versammlung im Herbst 1900 zum ersten Male einem grösseren Personenkreis vorgeführt wurde (ebenso wurde dasselbe in Paris 1900 während des Physikerkongresses und in Hamburg 1901 bei Gelegenheit meines Vortrages vorgezeigt), hat zu mancherlei Erörterungen und Anfragen geführt, die mich veranlassen, einige weitere erläuternde Bemerkungen über dieses Bild hinzuzufügen.

Die beiden Aufnahmen sind nach Mittheilung des Hrn. Prof. Wolf mit einem Objektiv von 159 *mm* Oeffnung und 806,7 *mm* Brennweite gemacht worden; die Dauer der Expositionszeit betrug $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden; die mittlere Aufnahmezeit war kurz vor Mitternacht der beiden oben genannten Tage. In diesen Tagen befanden sich,



am 10. Juni 1899 — am 9. Juni 1899

Fig. 16. Saturn im Sternbild des Schlangenträgers, zusammengestellt nach Aufnahmen von Prof. M. Wolf in Heidelberg.

Bei der vorliegenden *Reproduktion des Saturnbildes* sind die Einzelbilder vor dem Zusammenfügen etwa $2\frac{1}{2}$-mal *vergrössert* worden. Ich möchte bezüglich dieser Bilder auch noch bemerken, dass bei den Bildern ebensowenig wie auf den Platten von den *Ringen* des Saturn etwas zu sehen ist, da diese wegen der fast zweistündigen Exposition der Platte durch die Helligkeit des Planeten im photographischen Bilde überstrahlt sind. Auch der grosse Durchmesser des Scheibchens ist nur eine Folge dieser Ueberstrahlung und bietet keinen Anhalt für die Beurtheilung des Durchmessers des Saturn.

Zur Betrachtung des Stereoskopbildes empfiehlt es sich, vor jedes der beiden Augen ein gewöhnliches Brillenglas von etwa 100 bis 150 *mm* Brennweite zu halten und den Kopf der Papierfläche soweit zu nähern, dass man deutlich sehen kann. Bei passender Haltung der Linsen gelangen die beiderseitigen Bilder dann sofort zur Vereinigung im stereoskopischen Sehen. Wer die Bilder im freien stereoskopischen Sehen mit parallel gerichteten oder mit gekreuzten Augenachsen — pseudo-stereoskopischer Effekt — vereinigen kann, braucht natürlich dieses Hülfsmittel nicht.

wie man aus einer Sternkarte leicht entnehmen kann, Sonne, Erde und Saturn (siehe Fig. 17) in angenäherter Opposition und die Bewegung der beiden Planeten um die Sonne erfolgte ungefähr senkrecht zur Blickrichtung und von West nach Ost. Am Fixsternhimmel macht der Saturn eine scheinbare rückläufige Bewegung (Schleife), die bekanntlich jeder der äusseren Planeten in einem Zeitraum von etwas mehr als einem Jahr einmal — zur Zeit der Opposition — macht, aber nicht in ihrer Eigenschaft als äussere Planeten, sondern weil die lineare Geschwindigkeit, mit der sich die äusseren Planeten um die Sonne bewegen, wesentlich geringer ist als die der Erde. Wäre die lineare Geschwindigkeit eines der äusseren Planeten der der Erde

gleich oder grösser, so würde sich bei ihm die ganze Schleife auf eine Periode scheinbaren Stillstandes bezw. scheinbarer Verlangsamung seiner Fortbewegung reduziren. Ich hebe diese an sich selbstverständlichen Dinge nur deshalb hervor, weil sie für die richtige Deutung des bei stereoskopischer Betrachtung solcher Sternaufnahmen beobachteten stereoskopischen Effektes von der grössten Bedeutung sind. Sie zeigen uns, dass, wenn wir die Sternbilder, wie wir dies auch bei dem Saturnbild gethan haben, im Stereoskop so kombiniren, dass die Richtungslinie von West nach Ost in die Verbindungslinie der beiden Augen fällt und die erste Aufnahme (9. Juni) dem rechten Auge, die spätere, zweite Aufnahme (10. Juni) dem linken Auge zugeführt wird (Fig. 16) — was der natürlichen aufrechten Stellung des nach Süden schauenden Beobachters mit entsprechend weit auseinander gerückten Augen entspricht — dass dann ein im Grossen und Ganzen *richtiger* stereoskopischer Anblick von den äusseren Planeten nur zur Zeit der Opposition gewonnen werden kann. So auch im vorliegenden Falle, wo sich der Saturn in der Zeit vom 9. bis 10. Juni ungefähr $^1/_3$ des Weges, welchen die Erde in dieser Zeit zurückgelegt hat, von seiner Stelle entfernt hat. Das rechte Auge sieht also den Saturn in der Richtung AP (Fig. 17), das linke Auge in

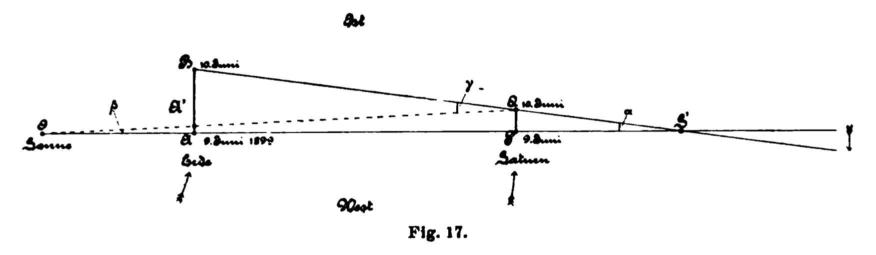


Fig. 17.

der Richtung BQ, und der scheinbare Ort, wo der Saturn dem Augenpaar im stereoskopischen Sehen erscheint, ist der Durchschnittspunkt S' der beiden vorgenannten Geraden. Würde der Saturn in der Zeit vom 9. bis 10. Juni sich *nicht* bewegt haben, so wäre der stereoskopische Effekt — das Hervortreten des Saturn vor die Fixsternebene — unter sonst gleichen Umständen *noch stärker* in die Erscheinung getreten, als in dem vorliegenden Stereoskopbild schon der Fall ist. Denn der Ort, in dem sich alsdann die beiden Richtungslinien schneiden, wäre identisch mit dem wahren Ort des Saturn. Würden wir dagegen annehmen, der Saturn hätte sich mit gleicher oder grösserer linearer Geschwindigkeit wie die Erde fortbewegt, so würde stereoskopisch betrachtet der Saturn *in* bezw. *hinter* der Fixsternebene erscheinen. Im letzterwähnten Falle weist die geometrische Betrachtung des Strahlenganges (siehe Fig. 18), wie ich schon bei einer anderen Gelegenheit dargethan habe[1]), dem Stern seinen Ort (S') auf der entgegengesetzten Seite des Beobachters zu, während physiologisch im stereoskopischen Sehen die für das Begriffsvermögen allerdings nicht fassbare Vorstellung hervorgerufen wird, als läge das betreffende Objekt *hinter* der Unendlichkeit.

In allen diesen vorbezeichneten Fällen können wir sagen, dass der im Stereo-Komparator beobachtete Effekt gleichbedeutend ist mit demjenigen Effekt, den man erhalten würde, wenn man unter sonst gleichen Umständen *mit der Differenz der beiden Wege* ($A'B$ in den Fig. 18 u. 19) *gleichzeitig* in den Weltenraum hinausschauen würde. Diese Differenz ist natürlich in dem vorstehend bezeichneten Falle (Fig. 18), wo die lineare Bewegung des Sternes grösser ist als die eigene Ortsveränderung, negativ; aber man braucht nur die beiden Platten unter sonst gleicher Orientirung

[1]) Ueber einige stereoskopische Versuche. *Diese Zeitschr.* **21.** *S. 221. 1901.*

rechts und links zu vertauschen und man erhält den stereoskopischen Effekt, dass der betreffende Stern jetzt genau ebenso weit *vor* die Unendlichkeitsfläche tritt, wie er sich vorher dahinter befand, und die Erscheinung ist in Allem genau so, wie wenn man mit der *positiv* gerechneten Differenz ($A'B$) der beiden Wege *gleichzeitig* in den Weltenraum hinaus und auf den in Q befindlichen Planeten schauen würde.

In Anbetracht der verschiedenartigen Möglichkeiten, die, wenn die Aufnahme der äusseren Planeten nicht zur Zeit der Opposition stattfindet und bei Aufnahmen der *inneren* Planeten, auch thatsächlich vorkommen, dürfen wir daher wohl sagen, dass der bei unserem Saturnbild beobachtete stereoskopische Effekt, soweit es sich um den Hauptplaneten handelt, *im Wesentlichen der Wirklichkeit entspricht* und nur in Bezug auf seinen absoluten Werth eines gewissen Vorbehaltes bedarf. Mit den Saturn-*Monden* liegt die Sache allerdings anders, da diese ihre eigene Bewegung um den Hauptplaneten ausführen, und es kann sogar vorkommen, dass die Bildpunkte von zwei *verschiedenen* Monden sich zu einem stereoskopischen Effekt vereinigen: in Fällen nämlich, wo die beiden Monde zur Zeit der Aufnahme auf derselben Seite des Hauptplaneten und in gleicher Höhe sich befinden. Aber die Zusammengehörigkeit der Monde zum Hauptplaneten tritt trotz dieses Einwandes auch im Stereoskopbild deutlich

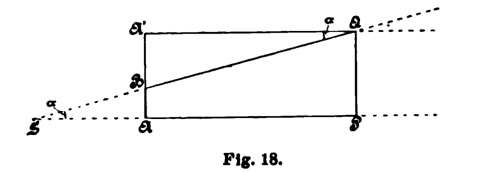


Fig. 18.

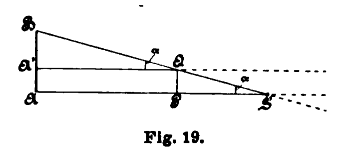


Fig. 19.

zu Tage und ganz besonders dann, wenn man die Zeitdifferenz zwischen den beiden Aufnahmen nicht nach einem, sondern nach *mehreren* Tagen bemisst.

In Anrechnung des grossen *didaktischen* Werthes, den solche in sinngemässer Weise zusammengesetzte und beurtheilte Stereoskopbilder von Objekten des Weltenraumes beanspruchen dürfen, erscheint der Wunsch berechtigt, den mit mir gewiss viele Leser dieser Zeilen theilen, noch andere derartige Bilder zu besitzen. Ich habe schon an einer früheren Stelle auf die auffallende Erscheinung hingewiesen, dass trotz des so viel versprechenden Anfangs, den Warren de la Rue 1858 mit seinen Stereoskopbildern des Mondes gemacht hat, und trotzdem die Idee der stereoskopischen Betrachtung von Fixsternkonstellationen in den letzten fünfzehn Jahren verschiedentlich aufgetaucht ist (vgl. Abschn. II *S. 71*), Niemand an die Herstellung dieser einfachen Stereoskopbilder des Sternhimmels gedacht hat. Aufnahmen, die sich in gleicher Weise und jedenfalls mit noch viel schönerem Erfolg, als bei dem Saturnbild der Fall ist, zu Stereoskopbildern zusammenstellen liessen, sind sicher in grosser Auswahl auf den verschiedenen Observatorien vorhanden, und es wäre wirklich sehr werthvoll, wenn diejenigen Herren, denen solche Aufnahmen zugänglich sind, sich die Mühe nicht verdriessen lassen wollten, derartige Bilder für die stereoskopische Betrachtung zusammenzustellen und weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Wie prachtvoll muss erst die Erscheinung sein, wenn, wie dies bei günstigen Konstellationen der Fall ist, mehrere der äusseren Planeten sich *gleichzeitig* auf dem Plattenpaar vorfinden und die Planeten *in ihrer richtigen Reihenfolge* vor der Fixsternebene sich präsentiren, oder wenn man in einen *Fleck auf der Sonne* wie in ein Loch hinein oder durch den *Ring des Saturn* hindurchschaut[1]), oder wenn man den der Sonne ab-

[1]) Aufnahmen des Saturn, auf denen auch der Ring sichtbar ist, sind Hrn. Pickering gelungen. In obigem Falle müssten die Aufnahmen mehrere Jahre auseinander liegen.

gewandten *Schweif eines Kometen* im Raum schweben oder die *Flugbahnen* der durch die Atmosphäre fliegenden *Meteore* dauernd im Raum festgehalten sieht! Im letzteren Falle ist natürlich die gleichzeitige Aufnahme von zwei Standpunkten aus die Vorausssetzung. Im November vorigen Jahres wurde meine Absicht, telestereoskopische Meteoraufnahmen zu bewerkstelligen, durch die Ungunst der Witterung vereitelt. Vielleicht gelingt in diesem Jahre der Versuch; 500 bis 1000 *m* Standlinie und lichtstarke Weitwinkel-Objektive von etwa 20 *cm* Brennweite dürften genügen[1]).

Im Anschluss an die vorstehende Besprechung des Saturnbildes möchte ich noch zeigen, welchen Werth die Ausmessung des Plattenpaares mit Hülfe des Stereo-Komparators für den *Abstand des Saturn von der Erde* ergeben hat. Wir setzen hierbei als bekannt voraus den Abstand der Erde von der Sonne gleich 149 Millionen Kilometer und die Umlaufszeiten der beiden Planeten um die Sonne, 365 Tage für die Erde und 10759 Erdentage für den Saturn. Die mit Hülfe des Stereo-Komparators (Benutzung der wandernden Marke) gemessene Verschiebung des Saturn beträgt 1,12 *mm*. Aus der Brennweite $F = 806{,}7$ *mm* des Aufnahmeobjektivs erhalten wir somit den Richtungsunterschied α der beiden Geraden AP und BQ (siehe Fig. 17, *S. 232*) zu $1{,}12/806{,}7 = 4'\,46''$. Die Winkelgeschwindigkeit des Saturn (β in Fig. 17) berechnet sich pro Erdentag zu $360^0/10759 = 2'\,0''$ und die diesem Winkelwerth entsprechende Strecke in der Erdentfernung von der Sonne zu $AA' = 2\,\pi \cdot 149/10\,759 = 0{,}087$ Millionen Kilometer, gegenüber der von der Erde auf ihrem Weg um die Sonne an einem Tag zurückgelegten Strecke im Betrage von $2\,\pi \cdot 149/365 = 2{,}565$ Millionen Kilometer. In dem Dreieck $A'BQ$ ist somit gegeben die Seite $A'B = 2{,}478$ Millionen Kilometer und der Winkel $\gamma = 4'\,46'' + 2'\,0'' = 6'\,46''$, und wir erhalten die gesuchte Entfernung des Saturn von der Erde zu $E = 2{,}478/\mathrm{tg}\,6'\,46'' = 1259$ Millionen Kilometer, in fast vollkommener Uebereinstimmung mit der wahren mittleren Entfernung 1269 Millionen Kilometer.

b) Versuche und Messungen an Sternplatten.

Die ersten Versuche mit dem Stereo-Komparator fanden im Juni 1901 statt. Die Erwartungen, die ich in die Leistungsfähigkeit des Stereo-Komparators auf astronomischem Gebiet gesetzt hatte, wurden gleich bei diesen ersten Versuchen weit übertroffen. Das Arbeiten mit dem Instrument bot nicht nur keinerlei Schwierigkeiten, es war geradezu ein Genuss, die Sternbilder im binokularen Sehen zu betrachten und am Auge vorüberziehen zu lassen. In der That trat die Prüfung der getroffenen Einrichtungen des Apparates damals ganz zurück gegenüber der Fülle des Interessanten, das sich auf den Platten unmittelbar dem Beobachter darbot und zu deren genauerem Studium der Apparat direkt aufforderte.

Diese Versuche, über die ich im Folgenden näher berichten werde, haben mich die bisher auf derartige Untersuchungen angewandte grosse Mühe und Arbeit so recht erkennen lassen. Das Aufsuchen z. B. einer Planetenspur im monokularen Sehen und die Entscheidung darüber, ob der gefundene Strich ein Plattenfehler oder eine

---

[1]) Das stereo-photogrammetrische *Festlegen von Bewegungsvorgängen in der Atmosphäre* ist auch auf anderen Gebieten, z. B. für das Studium von Flug- und Geschossbahnen, für das Studium der Blitz- und Explosionserscheinungen u. s. w. von Interesse. Hr. Hofmann, Vorsteher des Reproduktionslaboratoriums der Zeiss'schen Werkstaette, hatte die Freundlichkeit, für mich zwei Stereo-Aufnahmen im Laboratorium auszuführen; die eine zeigt eine *Magnesiumblitzlicht-Explosion*, wobei dem Magnesium Eisenfeilspähne beigefügt waren, die andere die zwischen den Polen eines Induktoriums überspringenden *Funken*, beide Vorgänge als überraschend schöne körperliche Gebilde.

Kette schwacher Sterne oder eine wirkliche Planetenspur sei, ist eine ganz ausserordentlich mühsame und zeitraubende Arbeit, denn der Beobachter hat abwechselnd mehrere Male hintereinander dasselbe Sternbild auf beiden Platten aufzusuchen, zu beobachten und die Konstellation jedesmal im Gedächtniss festzuhalten. Genau so umständlich ist das Verfahren, wenn es sich um die genaue Identifizirung der beiderseitigen Objekte handelt und wenn es darauf ankommt, die den wirklichen Sternen und Nebeln oft zum Verwechseln ähnlich sehenden Plattenfehler aufzusuchen bezw. auszuscheiden. Und wenn es sich gar darum handelt, die Lagen-*Aenderung* der Sterne durch deren Ortsbestimmung auf jeder der beiden Platten zu ermitteln, so steht der Beobachter vor einer geradezu unüberwindlichen Aufgabe, weshalb auch die meisten der photographischen Platten nach dieser Richtung noch gar nicht erschöpfend untersucht sind. Wenn man dann sieht, wie unendlich viel einfacher diese Aufgaben mit Hülfe des Stereo-Komparators gelöst werden, wie das Gedächtniss und das Protokoll bei dem Vergleich der Platten fast vollkommen entlastet sind, da man ja die Bilder gleichzeitig erblickt, so ist wohl nicht zu viel gesagt, wenn ich den Stereo-Komparator mit den darauf liegenden Sternplatten mit einem *Buch* vergleiche, in das der Beobachter mit seinen zwei Augen nur zu schauen braucht, um alles Wissenswerthe aus demselben unmittelbar herauszulesen. Denn gerade so, wie man bei dem Lesen eines Buches nicht mehr auf die einzelnen Buchstaben und Zeichen, sondern ausschliesslich auf den geistigen Inhalt achtet, so tritt auch hier die Art und das Aussehen der einzelnen Gebilde ganz zurück gegenüber der *Art und der Vollkommenheit der Raumvorstellung*. Dieser Vorzug erhebt die stereoskopische Methode in der That zur vornehmsten aller Differenzmethoden und befähigt selbst den in astronomischen Arbeiten ganz unerfahrenen Beobachter zur Mitarbeit.

So gelang es mir, obschon ich mich niemals vorher mit der Untersuchung photographischer Sternaufnahmen beschäftigt hatte, nicht allein, sofort eine ganze Reihe als veränderliche Sterne verdächtige Punkte und Plattenfehler aufzufinden, sondern auch mehrere schon früher von Hrn. Wolf auf den Platten gefundene kleine Planeten wiederzufinden und ausserdem mit grösster Bequemlichkeit darüber zu entscheiden, ob der betreffende Strich eine Planetenspur ist oder nicht. Neuerdings ist es mir bei einer gelegentlichen nochmaligen Durchmusterung der Wolf'schen Platten sogar gelungen, einen *neuen* kleinen Planeten von 12,5. bis 13. Grösse zu finden[1]), der, wie mir Hr. Wolf schreibt, damals übersehen wurde. Diese Thatsache allein zeigt die Ueberlegenheit des Stereo-Komparators in dem Auffinden kleiner Planeten[2]), denn man weiss, mit welcher Sorgfalt Hr. Wolf seine Platten absucht und welche Uebung

[1]) Siehe meine diesbezügliche Mittheilung „Auffindung eines neuen Planeten 1899 JF mit Hülfe des Stereo-Komparators." in den *Astron. Nachr. Nr. 3797. Juli 1902.*

Die *Ortsbestimmung der Planetenspuren* mit Hülfe des Stereo-Komparators kann in zweierlei Weise vorgenommen werden. Das erste Verfahren besteht darin, dass man die Orientirung der Platten (im Einzelnen siehe dieserhalb *S. 133*) in Rektaszension und Deklination den beiden Verschiebungsrichtungen des Plattenpaares parallel vornimmt und dann mit den beiden Mikrometervorrichtungen M und N der Platte P_2 (siehe Fig. 1) die Verrückung des Striches in Rektaszension und Deklination misst, wobei beide Mikroskope und die auf gleiche scheinbare Entfernung mit der Fixsternebene eingestellte Marke zur *Einstellung im monokularen Sehen* benutzt werden. Oder aber man bestimmt den *Drehungswinkel*, um den jede der beiden Platten aus der angegebenen Lage gedreht werden muss, damit die Planetenspuren horizontal neben einander gelegen sind, und bestimmt den Gesammtwerth der Verrückung mit *Hülfe der wandernden Marke.*

[2]) Vielleicht gelingt es mit dem Stereo-Komparator auch einmal, des schon so oft gesuchten transneptunischen Planeten habhaft zu werden.

ihm in diesem allerdings mühsamen Geschäft zur Seite steht. Die Bedeutung des Stereo-Komparators für das Auffinden neuer veränderlicher Sterne hat Hr. Wolf in seiner oben erwähnten Mittheilung dadurch dokumentirt, dass er deren gleich ein ganzes Dutzend aufführt, die man bisher übersehen hat.

Diese Leistungsfähigkeit des Stereo-Komparators in Bezug auf das Auffinden von Plattenfehlern, Planetenspuren und veränderlichen Sternen wird verständlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass in Folge des Umstandes, dass das betreffende Objekt entweder nur auf einer Platte oder auf beiden Platten an ganz verschiedenen Stellen sich befindet, eine stereoskopische Raumvorstellung dieser Objekte überhaupt gar nicht zu Stande kommt. In die bei vollkommen gleichartigen Bildern *wohlthuende Ruhe der Vorstellung passt ein solches Objekt nicht hinein.* Die hieraus sich ergebende *Unruhe im Bilde*, die auch als eine Art *Glanz* oder ein *Flattern* empfunden wird, lenkt die Aufmerksamkeit des Beobachters sofort auf die Stelle hin, wo sich das Objekt befindet, *ohne dass man danach besonders zu suchen braucht.* Hernach bedarf es nur eines abwechselnden Oeffnens und Schliessens des linken und des rechten Auges, oder, was empfehlenswerther ist, einer Drehung des Kopfes um den einen und dann um den anderen Augapfel, um den Unterschied zwischen den beiden Sternbildern auch im monokularen Sehen zu erkennen[1]).

Beobachtung von Ketten u. dgl. Die Eigenschaft des stereoskopischen Verfahrens, dass man leicht das Zufällige vom Thatsächlichen zu unterscheiden vermag, ist besonders auch da von Werth, wo es sich um den Nachweis der Existenz *faden- und nebelförmiger Gebilde* im Weltenraum, bezw. um die Feststellung etwaiger Veränderungen dieser Gebilde handelt. Die Existenz der äusserst zarten, wie Schlieren im Glase aussehenden Gebilde auf den oben erwähnten Wolf'schen Platten *ξ Ophiuchi* hat mich damals ausserordentlich überrascht. Hr. Prof. Wolf, welcher diese Gebilde schon früher gesehen und darüber in den *Astron. Nachr.* berichtet hat, theilte mir auf meine Anfrage mit, dass es Ketten äusserst schwacher Sterne seien. Den mir in der Diskussion nach meinem Hamburger Vortrag gemachten Einwand, dass die Gebilde möglicherweise auch Plattenfehler, hervorgerufen durch das photographische Entwickelungsverfahren, seien, konnte ich in meiner Erwiderung sofort durch den Hinweis entkräften, dass es ganz unmöglich sei, zwei unter sich vollkommen gleiche Gebilde dieser Art auf zwei zu verschiedenen Zeiten aufgenommenen Platten und genau an derselben Stelle zu den umgebenden Sternen hervorzurufen. Dass diese Gebilde unter sich genau identisch und daher existenzberechtigt sind, beweist der stereoskopische Anblick, sie scheinen in genau der gleichen Ebene zu schweben, der auch die Fixsterne angehören. In der Regel bilden sie eine mehrere Sterne verbindende Brücke, aber in anderen Fällen sieht man auch, dass sie, von einem oder von mehreren Sternen ausgehend, als selbstständige Fasern, die sich zuweilen gegenseitig kreuzen, frei in den Weltenraum verlaufen.

Im Anschluss hieran will ich noch einer Erscheinung Erwähnung thun, die ich auf eben denselben Platten beobachtet habe. Es zeigte sich nämlich, dass an einer

[1]) Besondere Vorsicht in der Deutung der aufgefundenen Punkte als veränderliche Sterne dürfte bei dem Vergleich *benachbarter Sternplatten der Himmelskarte* geboten erscheinen, da die Sichtbarkeit schwächerer Sterne bekanntlich mit dem Abstand des Sternortes von der Plattenmitte nicht unerheblich abnimmt. Ich habe solche Platten noch nicht auf dem Stereo-Komparator liegen gehabt. Ich habe daher auch keine Erfahrung über die *Wirkung des Netzes* auf diesen Platten im stereoskopischen Sehen. Vermuthlich stört es die Beobachtung; der Vorschlag des Hrn. Prof. Wolf, zu Vermessungszwecken unter *eine* der Platten ein Strichnetz zu legen, erscheint für die Zwecke des Stereo-Komparators besonders beachtenswerth.

mehrere Millimeter grossen Stelle die dort befindlichen Sterne ein ganz erhebliches Stück (der gemessene parallaktische Unterschied beträgt im Maximum 0,03 *mm*) weit aus der Ebene der übrigen Sterne heraustreten. Beim schrägen Aufblick auf die Platte zeigte sich an dieser Stelle als Ursache der Erscheinung eine geringe Erhöhung (keine Blase) in der Glasoberfläche. Was aber diese Erscheinung besonders erwähnenswerth macht, ist der Umstand, dass *die ganze Umgebung der gehobenen Sterne mit in die Höhe gehoben* erscheint. Man hat den Anblick, als schaue man von oben auf einen Bergrücken mit ringsum liegenden Thälern herab, auf deren Oberfläche die Sterne vertheilt sind[1]). Ich sehe in dieser Erscheinung einen Anhalt dafür, dass der sogenannte Himmelshintergrund, der sich auf den Platten mit zunehmender Expositionszeit immer stärker bemerkbar macht, bei den vorerwähnten Platten mit $1^1/_2$ bis 2 Stunden Expositionszeit bereits *ordnend* auf das sog. „Korn" der Platten eingewirkt hat.

Ueberraschende stereoskopische Effekte. Die bisher erwähnten Versuche sind an Platten gemacht, deren Aufnahmezeiten nur einen Tag auseinander liegen. Abgesehen von den auf diesen Platten befindlichen Planeten und den angegebenen Störungen erschien bei denselben der ganze Sternenhimmel bis zum Rande der Platte, also einschliesslich der stark verzerrten Sternbilder am Rande, *starr in einer Ebene.* Als ich dann aber ein Plattenpaar auf den Stereo-Komparator legte, bei denen die einzelnen Aufnahmezeiten *vier Jahre auseinander lagen* — es sind dies zwei Aufnahmen des *Orionnebels* (des Näheren siehe weiter unten), die eine vom 17. März 1894, die andere vom 21. Dezember 1898 (das Objektiv war das oben erwähnte) — bot sich mir ein ganz überraschender Anblick. Denn die einzelnen Sterne lagen nicht mehr in einer Ebene, es traten einzelne Sterne deutlich vor, andere deutlich zurück. Am auffälligsten war die Erscheinung, wenn beide Platten auf dem Stereo-Komparator so orientirt wurden, dass die *Ost-West-Richtung* der Horizontalschlittenführung des Plattenpaares parallel gerichtet war. Wurden die Platten unter Beibehaltung ihrer Orientirung vertauscht, so trat der entgegengesetzte, pseudostereoskopische Effekt ein, die vorher vorderen Sterne traten jetzt zurück. Wurden die Platten nach rechts oder links jedesmal um 90° gedreht und von Neuem wieder für die stereoskopische Betrachtung zurechtgestellt, so war der stereoskopische Effekt so gut wie verschwunden. Aus diesen Versuchen ergiebt sich zur Evidenz (vgl. oben *S. 137*), dass bei den beschriebenen Erscheinungen *physiologische Effekte keinerlei Rolle spielen, es müssen ihnen vielmehr wirkliche Verschiebungen der Sternbilder in der West-Ost-Richtung auf den beiden Platten zu Grunde liegen,* und es fragt sich nur, was die Ursache dieser Verschiebungen ist. Ihren numerischen Werth habe ich mit Hülfe der wandernden Marke bestimmt. Er beläuft sich für die Mitten der Sternbildchen im Maximum auf 0,02 *mm*, entsprechend einer Winkeldifferenz im Weltenraum im Betrage bis zu 5″ bei einer Einstellungsgenauigkeit für die einzelnen Sternbildchen im Betrage von 0,002 *mm* gleich 0,6″ (vgl. die Genauigkeitsangaben auf *S. 141*). Die Einstellung auf die Nebel erwies sich hierbei in gleich einfacher und sicherer Weise ausführbar wie die auf die Sterne.

Zunächst lag für mich natürlich der Gedanke nahe, dass die grosse Standlinie

[1]) Weitere Störungen dieser oder ähnlicher Art habe ich auf den Wolf'schen Platten nicht beobachtet. Ich möchte an dieser Stelle noch ausdrücklich hervorheben, dass ich den so sehr gefürchteten örtlichen Verziehungen der photographischen Schicht an keiner Stelle der Platten begegnet bin. Selbst in den Fällen, wo grobe Verunreinigungen die Platte bedeckten oder die Schicht durch allerdings nur zarte Risse beschädigt war, war von einer hierdurch hervorgerufenen Ortsänderung der Sterne (stereoskopischer Effekt) selbst in unmittelbarer Nähe dieser Störungen nichts zu beobachten.

— etwa 16 Sonnenweiten — die Erscheinung verschuldete. Aber damit konnte die Erscheinung schon allein deshalb nicht in ursächlichen Zusammenhang gebracht werden, weil die Verschiebungsrichtung nicht mit der Richtung des Sonnenapex übereinstimmt. Störungen in der Schicht oder Eigenbewegungen der Fixsterne konnten auch nicht die Ursache sein, da die Verschiebungen, wie oben angegeben, überall die gleiche Richtung hatten. Auch hätten bei Eigenbewegungen immer nur einzelne Sterne in Frage kommen können, während im vorliegenden Falle an den Verschiebungen die sämmtlichen Sterne mehr oder weniger betheiligt waren; es fehlte eigentlich die starre ebene Fläche, welche sich bei der Saturnaufnahme, hier allerdings zum Theil auch in Folge der längeren Aufnahmezeit, in so eindringlicher Weise bemerkbar machte. Was mochte also die Ursache sein?

Weitere Versuche in Heidelberg. Es ist selbstverständlich, dass ich mich in der Beurtheilung der Zweckmässigkeit der Einrichtungen am Stereo-Komparator für die verschiedenen astronomischen Anwendungen nicht auf mein eigenes Urtheil allein verlassen wollte, und ich bin, um mit Rücksicht auf die in die Wege zu leitende Fabrikation von Stereo-Komparatoren so schnell als möglich eine Entscheidung hierüber herbeizuführen und zum Zwecke der Demonstration des Apparates überhaupt, mit demselben Anfang August 1901 auf einige Tage zu Hrn. Prof. Wolf nach Heidelberg (Königstuhl) gereist. Diese Aussprache ist sowohl für die definitive Konstruktion der beiden neuen Modelle (*S. 75*) als auch für das Studium der vorerwähnten merkwürdigen stereoskopischen Effekte, wobei uns das ganze Plattenmaterial sofort zur Verfügung stand, äusserst werthvoll gewesen. Hr. Wolf ist, was bei dieser Gelegenheit erwähnt sein mag, ein im stereoskopischen Sehen ganz besonders befähigter Beobachter, der sich mir im Erfassen kleinster Tiefenunterschiede, trotzdem mir die längere Uebung zur Seite stand, gleich bei den ersten gemeinsamen Versuchen überlegen zeigte. Es kommt das daher, weil Hr. Wolf auf beiden Augen die volle Sehschärfe besitzt, ich dagegen nur auf dem rechten Auge. Aus dem gleichen Grunde war Hr. Wolf mehr als ich empfänglich für die Störungen im stereoskopischen Sehen, Plattenfehler u. s. w.; was mir als Unruhe erschien, erregte in ihm geradezu ein Schmerzgefühl.

Ich weiss nicht, wie viel Platten wir auf dem Stereo-Komparator haben liegen gehabt, wir haben kein regelrechtes Protokoll darüber geführt. Viele der vorhandenen Platten waren für die stereoskopische Betrachtung überhaupt nicht verwendbar, da die Sternbilder wegen ungleich langer Expositionszeiten oder wegen der Verschiedenheit des photographischen Verfahrens oft gar zu sehr von einander abwichen. Diejenigen aber, welche eine stereoskopische Betrachtung zuliessen — und es waren deren nicht wenige — wurden ganz im Sinne des oben von mir angeführten Bildes von dem aufgeschlagenen Buche in Bezug auf das, was sie uns darboten, eingehend betrachtet und im Einzelnen besprochen. Dem vorerwähnten merkwürdigen stereoskopischen Effekt sind wir noch an einer ganzen Reihe von Platten begegnet. Bei einigen trat er mit grösster Vollkommenheit und mit einem noch grösseren numerischen Betrage, als oben für die Orionplatten angegeben ist, in die Erscheinung. Die Grösse des Zeitabschnittes zwischen den beiden Aufnahmen schien auf das Zustandekommen des Effektes ohne Einfluss zu sein, denn wir haben ihn an Platten beobachtet, die oft nur wenige Monate auseinander lagen, während wiederum ein anderes Plattenpaar mit 8 Jahren Zeitunterschied — die grösste bis jetzt von mir benutzte Standlinie gleich 32 Sonnenweiten — den Anblick einer starren ebenen Fläche darbot, wie es bei den Saturnaufnahmen mit nur einem Tag Zeitunterschied der Fall war.

Die richtige Deutung des in Frage stehenden Effektes hat uns viel Schwierigkeit gemacht. Wir suchten sie zuerst in der Art des Zustandekommens des Sternbildes unter der *Einwirkung* der Eigenthümlichkeiten des *photographischen Objektivs*. In der That existiren auch solche Einflüsse, aber sie sind ganz anderer Art. Beispielsweise wurde bei Platten, bei denen die optische Achse des Fernrohrobjektivs nicht auf denselben Stern gerichtet war — Benutzung eines anderen Haltesternes — die Beobachtung gemacht, dass die am Rande der Platte gelegenen Sternbilder in Folge ungleichen Betrages der Deformation des Sternbildes nicht mehr wie sonst bei Benutzung desselben Haltesternes in einer Ebene erschienen, sondern eine stereoskopische Erscheinung darboten, die ich kurz als *Nagelerscheinung* bezeichnen möchte, da die Sterne auf der Platte hierbei so aussahen, wie die in ein Brett eingeschlagenen, etwas schiefstehenden Nägel mit mehr oder weniger vorstehenden Enden[1]). Aber mit diesen und ähnlichen Einwirkungen des Objektivs konnte schon deshalb die in Frage stehende Erscheinung nicht in ursächlichen Zusammenhang gebracht werden, weil die Erscheinung stets am vollkommensten in dem mittleren, der optischen Achse am nächsten gelegenen Theile der Platte auftrat.

Versuch einer Erklärung der in Frage stehenden stereoskopischen Effekte. Im Wesentlichen habe ich den nachstehenden Erklärungsversuch schon in meinem Hamburger Vortrage mitgetheilt. Ihm liegt eine kurz vorher von Hrn. Prof. Wolf, der in der Zwischenzeit den Apparat zu weiteren Studien benutzt und auch verschiedene Aufnahmen zur Aufklärung der Erscheinung gemacht hatte[2]), erhaltene briefliche Mittheilung zu Grunde, dass die Erklärung sehr wahrscheinlich in der *Farbe des Sternes* und in dem Umstand begründet sei, dass die *Aufnahmen unter verschiedenen Höhen* stattgefunden haben.

In der That bietet dieser Gedanke nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen, wie wir im Folgenden noch näher ausführen werden, die meiste Aussicht für eine sinngemässe Erklärung. Es bleibt uns vorläufig nichts Anderes übrig, als anzunehmen, dass an dem Zustandekommen des von uns beobachteten stereoskopischen Effektes *der durch die Refraktion und die Dispersion der Luft mehr oder weniger* — je nach der Höhe — *wirksam werdende Unterschied in der Gesammtlänge des Spektrums bei verschieden gefärbten und verschieden hellen Sternen in erster Linie betheiligt ist.* Es kommen aber sehr wahrscheinlich noch eine Reihe von Nebenwirkungen zur Geltung, sodass das Ganze als eine *Superposition von Wirkungen* anzusehen ist, und es wird der späteren Spezialforschung überlassen bleiben, den Ursachen im Einzelnen nachzugehen. Ich kann mich im Folgenden natürlich nur auf die vorerwähnten und im Laufe des Winters wiederholten und erweiterten Versuche stützen, zu denen mir Hr. Prof. Wolf wiederum in bereitwilligster Weise mehrere seiner Platten überlassen hat.

Uebereinstimmendes Verhalten der verschiedenen Plattenpaare. Wenn der Einfluss der Dispersion der Luft auf die von uns beobachteten stereoskopischen Effekte ausschlaggebend sein soll, so muss sich dieser Einfluss ausschliesslich in der *Ost-West-Richtung* bemerkbar machen. Denn jede Refraktion — dasselbe gilt auch von der Dispersion —

---

[1]) Effekte dieser und anderer Art (durch Verzeichnung, Projektion der Sternbilder auf zwei zu einander geneigte Platten u. s. w.) werden sehr wahrscheinlich auch *bei dem Vergleich der einander benachbarten Platten der Himmelskarte* beobachtet werden. Die hierdurch hervorgerufene Störung in dem Aussehen der einzelnen Sternbildchen sowohl wie auch der Fixsternebene lässt das Suchen nach Parallaxen und Eigenbewegungen auf den *benachbarten* Platten der Himmelskarte mit Hülfe des Stereo-Komparators wenig aussichtsvoll erscheinen.

[2]) Vgl. die Veröffentlichung des Hrn. Prof. Wolf in den *Astron. Nachr. 1901. Nr. 3749.*

können wir uns zerlegt denken in zwei Komponenten, eine Breitenrefraktion in der Richtung des Meridians und eine Seitenrefraktion in der Ost-West-Richtung. Die eine bleibt in der Hauptsache konstant für denselben Standort der Aufnahme. *Die andere ist nach Vorzeichen und Grösse verschieden* je nach der Stellung des Sternbildes im Augenblick der Aufnahme zum Meridian des Beobachters.

Dementsprechend *orientiren* wir die einzelnen Plattenpaare auf dem Komparator ganz ohne Rücksicht auf die Aufnahmezeiten *allein unter dem Gesichtspunkt,* dass wir die mehr nach *Osten* erfolgte Aufnahme (I) eines Sternbildes auf die *linke* Seite, die mehr nach *Westen* erfolgte Aufnahme (II) desselben Sternbildes auf die *rechte* Seite des Komparators legen und bei jeder Platte darauf achten, dass *Norden oben, Osten links und Westen rechts zu liegen kommt* (siehe Fig. 20). Es ergiebt sich dann Folgendes.

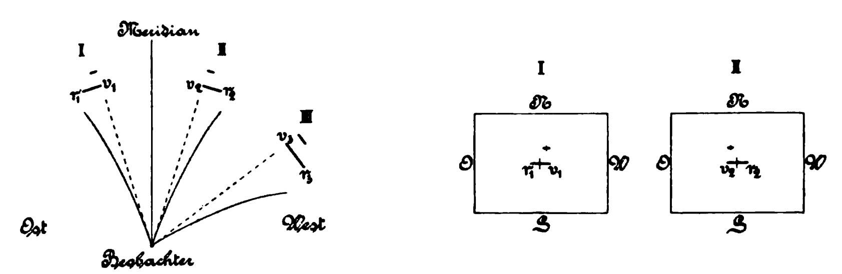


Fig. 20.

Erläuterung zu Fig. 20. Die *Figur rechts* zeigt die Art der *Orientirung* der beiden Platten I und II gemäss den im Texte gemachten Festsetzungen. Die über einander liegenden Striche bezeichnen die Sternspektren ($r v$) verschieden heller Sterne. Entsprechend dem von uns im stereoskopischen Sehen beobachteten stereoskopischen Effekt liegen die Schwerpunkte der Sternspektren für die hellen Sterne weiter auseinander als für die schwachen Sterne. Im stereoskopischen Sehen gelangen bei Plattenpaaren, die auf verschiedenen Seiten des Meridians aufgenommen sind, die ungleichnamigen Enden der Spektren, bei Plattenpaaren, die auf derselben Seite des Meridians aufgenommen sind, die gleichnamigen Enden der beiderseitigen Spektren zur Vereinigung.

Die *Figur links* veranschaulicht in schematischer Darstellung den *Strahlengang* in der Atmosphäre.

Nebel im Orion.

Platten-Nr.	I (1339)	II (799)
M. Z. Heidelberg	21. Dez. 1898, $9^h 30{,}5^m$ (Mondschein)	17. März 1894, $8^h 52^m$ (Mondschein)
Dauer der Exposition (in Min.) . .	15	10
Abweichung vom Meridian	*29° östlich*	*46° westlich.*

Die auf der Platte I befindlichen Sternbildchen sind sämmtlich *ein wenig grösser* als die der Platte II. Der Unterschied ist aber nicht so gross, wie der Unterschied der Expositionszeiten vermuthen lässt. *Der stereoskopische Anblick ist so, wie in Fig. 21 schematisch dargestellt.* Tiefenunterschied der Mitten im Maximum 0,02 *mm* (= 5").

Plejaden.

Platten-Nr.	I (1183)	II (1750)
M. Z. Heidelberg	1. Dez. 1896, $9^h 34^m$	26. März 1900, $8^h 31^m$
Dauer der Exposition (in Min.) . .	30	30
Abweichung vom Meridian	*23° östlich*	*75° westlich.*

Die Sternbilder der Platte I sind etwas grösser als die der Platte II, vielleicht in Folge des Helligkeitsunterschiedes der Atmosphäre während der beiden Aufnahmezeiten. Der stereoskopische Anblick ist im Wesentlichen wie beim Orionnebel, die Schrägstellung der Scheibchen (s. unten) tritt nur stärker hervor.

γ-Lyrae.

Platten-Nr.	I (2170)	II (2288)
M. Z. Heidelberg	7. Juli 1901, $10^h 20,8^m$	1. Sept. 1901, $9^h 45,8^m$
Dauer der Exposition (in Min.) . .	20	15
Abweichung vom Meridian	*25° östlich*	*19° westlich.*
Platten-Nr.	III (2293)	IV (1176)
M. Z. Heidelberg	1. Sept. 1901, $11^h 49,8^m$	5. Nov. 1896, $8^h 42^m$
Dauer der Exposition (in Min.) . .	15	20
Abweichung vom Meridian	*55° östlich*	*73° westlich.*

Die Sternbilder der Platte I sind relativ am grössten, es folgen dann der Reihe nach IV, II und III. Die Grössenunterschiede der beiderseitigen Sternbilder sind bei den Platten I, IV und II nicht besonders auffällig. Relativ weit ab steht die Platte III mit den kleinsten und wenigsten Sternbildern.

Hier ergiebt wiederum *jede* entsprechend unseren obigen Anforderungen für die Orientirung des Plattenpaares auf dem Stereo-Komparator gewählte *Plattenkombination im Wesentlichen den gleichen stereoskopischen Effekt* (Fig. 21), *die helleren Sterne treten hinter die schwächeren.* Am *stärksten* — bis zu 0,05 *mm* (12") gemessener Tiefenunterschied der Mitten der Sternbildchen — tritt er bei der Kombination I—IV hervor. Alle Kombinationen mit III leiden unter der angegebenen Beschaffenheit der Sternbildchen dieser Platte. In der Kombination III—IV ist das Zurücktreten der hellen Sternscheibchen stark überdeckt durch die Schrägstellung derselben. Auch tritt hier der rechte Rand zurück.

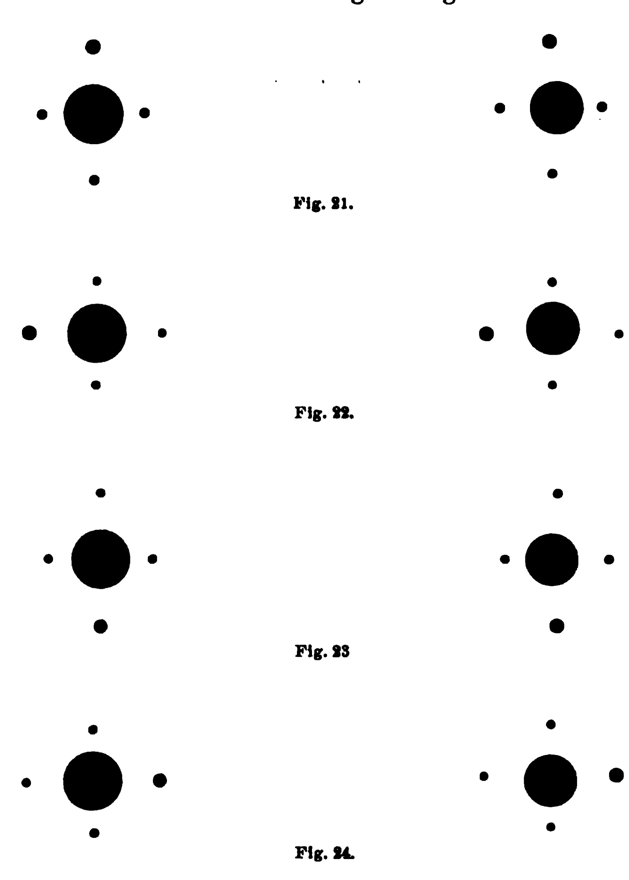


Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 23

Fig. 24.

Erläuterung zu Fig. 21. Das nebenstehende Stereoskopbild zeigt in schematischer Darstellung *das übereinstimmende Verhalten der untersuchten Plattenpaare*; das grosse, zwischen den vier kleinen gelegene Sternscheibchen tritt als Ganzes, mit dem linken Rand mehr, mit dem rechten Rand weniger, *hinter die kleinen Sterne.* Wegen der durch die Grössendifferenz bewirkten Schrägstellung siehe die im Text weiter unten folgenden Ausführungen. Wegen der stereoskopischen Betrachtung der Stereoskopbilder Fig. 21 bis 25 siehe die Bemerkung zu Fig. 16.

Erläuterung zu Fig. 22. Die Stereoskopbilder 22, 23 und 24 bilden die Illustration zu den Bemerkungen in Satz 3 (s. unten). Nach erfolgter Links-Drehung jeder Platte um 90° bleibt die Schrägstellung des Scheibchens erhalten, aber der Tiefenunterschied der Mitten fällt fort.

Erläuterung zu Fig. 23. Die weitere Drehung um 90° (zusammen 180° aus der ursprünglichen Stellung) ergiebt den pseudo-stereoskopischen Effekt; das Scheibchen tritt vor.

Erläuterung zu Fig. 24. Nach einer nochmaligen Drehung um 90° (zusammen 270°) ist die Erscheinung wie in Fig. 22.

Das vorstehend beschriebene Verhalten wollen wir in die folgenden *Sätze* zusammenfassen:

1. Bei allen Plattenpaaren, die *im Meridian* aufgenommen sind (vgl. weiter oben), ist *kein stereoskopischer Effekt bemerkbar,* alle Sterne liegen in einer Ebene[1]).

2. Bei allen Plattenpaaren, bei denen die einzelnen Aufnahmen *nicht im Meridian* aufgenommen sind, zeigt sich in der angegebenen Orientirung der Platten — zu welcher Tages- und Jahreszeit auch die einzelnen Aufnahmen erfolgt sind und trotz der zum Theil stark hervortretenden Nebeneinflüsse — *dass die helleren Sterne entsprechend ihrer Grössenklasse* — mit vereinzelt bei den Lyra-Platten vorkommenden Ausnahmen — *hinter die schwächeren Sterne treten* (Erscheinung wie in Fig. 21 schematisch dargestellt).

3. *Das Zurücktreten der helleren Sterne beruht auf keiner physiologischen Täuschung,* sondern wird durch eine, auch im gewöhnlichen Messverfahren nachweisbare, *wirkliche Ortsveränderung der Mitten der Scheibchen in der Ost-West-Richtung* hervorgerufen. Ich stütze mich besonders auf die Thatsache, dass der angegebene stereoskopische Effekt sich nach erfolgter Drehung der Platten um 180° sofort in den pseudostereoskopischen Effekt verwandelt — die Mitten der hellen Sterne treten vor (Fig. 23) — und dass er bis auf einen geringen Höhenfehler verschwindet bei denjenigen Stellungen der Platten, in denen die Ost-West-Richtung senkrecht zur Verbindungslinie der Augen steht (Fig. 22 und 24).

4. Die stereoskopische Wirkung ist um so grösser, je grösser der Winkelabstand der beiderseitigen Stellungen der Sternbilder ist (im Einzelnen siehe die Erläuterungen bei den angeführten Plattenpaaren).

5. Neben dieser spezifischen Wirkung macht sich noch der *Einfluss der ungleichen Grösse* der beiderseitigen Sternbilder durch eine der Grössendifferenz entsprechende *Schrägstellung des Scheibchens* und durch *eine Unruhe im oberen und unteren Theile des Scheibchens* bemerkbar.

Wir wollen zunächst den unter 5. erwähnten Einfluss und einige andere hierher gehörende Dinge etwas näher betrachten.

Einwirkung ungleicher Grösse. Sonstige Einflüsse. Unterschiede in der Grösse der beiderseitigen Sternbilder sind bei allen obigen Plattenpaaren vorhanden. Sie sind durch Unterschiede in der Dauer der Exposition, Helligkeit der Atmosphäre, Beschaffenheit der Platte, Art des Entwickelungsverfahrens u. s. w. bedingt. Alle diese Einflüsse machen sich durch eine nach allen Seiten *gleichmässig* stattfindende Vergrösserung des Sternbildchens bemerkbar.

Die im stereoskopischen Sehen auftretende *Wirkung eines solchen Grössenunterschiedes* ist nun für die verschiedenen Theile des Sternbildchens sowohl von *verschiedener Grösse,* als auch von *verschiedener Art.* Zunächst ist zu beachten, dass der Abstand der beiderseitigen *Mitten* der Sternbildchen und daher die scheinbare *mittlere* Entfernung des stereoskopischen Sternbildes ungeändert bleiben. Anders verhält es sich mit dem Abstand der zusammengehörigen *Ränder* der beiden Sternbildchen. Ist z. B. das grössere Sternbildchen auf der linken Platte gelegen, so kommen die rechten Ränder einander näher, und gleichzeitig rücken die linken Ränder weiter auseinander, was im stereoskopischen Sehen zur Folge hat, dass der rechte Rand des Sternbildchens

[1]) Ich möchte hierzu noch bemerken, dass eine *im Meridian gemachte Sternaufnahme* mit einer ebenfalls im Meridian, aber *in anderer Breite,* beispielsweise auf der Kapsternwarte, aufgenommenen Platte desselben Sternbildes *kombinirt,* voraussichtlich den gleichen stereoskopischen Effekt in Bezug auf die scheinbare Tiefenfolge der verschieden hellen Sterne ergeben wird, wie wir ihn an dem Plattenpaar mit verschiedener Seitenabweichung vom Meridian beobachtet haben. *Nur muss bei diesen Platten dann die Wirkung in der Nord-Süd-Richtung gelegen sein.* Eine experimentelle Bestätigung dieser Schlussfolgerung steht noch aus.

vor-, der linke Rand *zurücktritt* (siehe den unteren grossen Stern in Fig. 25). Die Sternbildchen scheinen alsdann nicht mehr in ihrer ganzen Ausdehnung in der Ebene der Platte zu liegen, sie stehen vielmehr schräg zu derselben, wie die schräg gestellten Lamellen einer Fensterjalousie. Aber die ganze Erscheinung hat ausserdem noch etwas *Unruhiges, Flackerndes,* was daher kommt, dass die oben und unten überstehenden Randpartien der grösseren Sternbildchen auf der anderen Platte kein Gegenüber haben, mit dem sie im stereoskopischen Sehen sich vereinigen können.

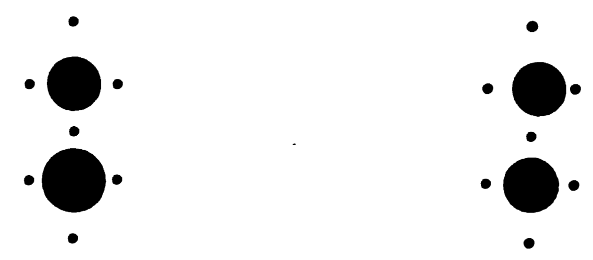


Fig. 25.

Erläuterung zu Fig. 25. Die der Erscheinung in Fig. 21 zu Grunde liegenden *Ursachen* sind hier von einander losgelöst und *jede für sich, im oberen Theil der Einfluss der ungleichen Lage, im unteren Theil der Einfluss der ungleichen Grösse, dargestellt.*

Es ist nun sofort zu sehen, dass, wenn in einem bestimmten Positionswinkel der rechte Rand des Scheibchens vor- und der linke Rand zurücktritt, *dies auch in jedem anderen Positionswinkel der Fall sein muss* (s. Fig. 21 bis 24). Ferner ergiebt sich, dass ein neben dem Scheibchen stehender kleiner Stern, bei dem die Schrägstellung in Folge der geringeren Ausdehnung entweder gar nicht oder nur in sehr geringem Maasse zur Geltung kommt, je nachdem er links oder rechts neben dem schrägstehenden grösseren Scheibchen steht, entweder vor oder hinter dem benachbarten Rande desselben gesehen wird. Der Tiefenunterschied gilt aber nur für die Ränder; *die Mitten der Scheibchen bleiben sämmtlich*, sofern keine andere Einwirkung stattfindet, *in genau der gleichen scheinbaren Entfernung* (vgl. Fig. 25).

Hieraus ergiebt sich, dass für den von uns beobachteten Tiefenunterschied der Mitten ungleich heller Sterne der Grössenunterschied der beiderseitigen Sternscheibchen in keiner Weise verantwortlich gemacht werden kann.

Es fragt sich aber, ob dieser Tiefenunterschied bezw. die ihm zu Grunde liegende Verrückung der Sternmitten in der Ost-West-Richtung nicht auch in anderer Weise als durch Farbenunterschiede erklärt werden kann. Es lässt sich geltend machen, dass vorübergehende Störungen in der gleichmässigen Fortführung des Fernrohres von Ost nach West während der Aufnahme für die relative Lage der Mitten ungleich heller Sterne dadurch einen Unterschied hervorrufen können, dass sie wegen des sogenannten Schwellenwerthes der photographischen Schicht an schwächeren Sternen spurlos vorübergehen, dagegen bei helleren Sternen eine Verlängerung des Sternbildchens nach der einen oder der anderen Richtung bedingen. Da aber diese Störungen, sofern sie nicht durch die Art der Beobachtung von selbst ausgeschlossen sind, unregelmässig verlaufen, so können auch sie nicht zur Erklärung der bei allen Plattenpaaren in gleichem Sinne stattfindenden Verrückungen der helleren Sterne herangezogen werden. Auch bliebe noch zu erklären übrig, weshalb sich diese Störungen nicht auch bei den Aufnahmen im Meridian bemerkbar machen.

Ebenso kann man daran denken, die einseitige, nach Grösse und Vorzeichen stetig sich ändernde Inanspruchnahme der Objektivfassung durch das Gewicht des Objektivs und deren Rückwirkung auf die Bilderzeugung für die beobachtete Erscheinung verantwortlich zu machen; aber es ist nicht wohl einzusehen, wie hieraus

sich der beobachtete Effekt ableitet. Ueberhaupt setzt das Studium des Einflusses des Objektivs die genaue Kenntniss seiner Eigenschaften voraus. Die Veränderung in der Durchbiegung des Rohres und des „Pointers" kann endlich auch nicht zur Erklärung herangezogen werden, da eine solche Veränderung, da sie stetig verläuft, die Mitten heller und schwacher Sterne in gleicher Weise beeinflusst.

Einfluss der Dispersion. Die Erklärung des beobachteten stereoskopischen Effektes durch Dispersion hat die innere Wahrscheinlichkeit für sich. Jedes nicht im Meridian beobachtete Sternbild ist wegen der durch die Atmosphäre hervorgerufenen Dispersion als ein in der Richtung von West nach Ost — die andere Komponente in der Richtung des Meridians kommt aus den oben angeführten Gründen nicht in Betracht — ausgezogenes Spektrum anzusehen, dessen blaues Ende jedesmal dem Meridian zugekehrt ist (s. Fig. 20) und dessen Lage und Ausdehnung für die verschiedenen Sterne keineswegs gleich zu sein brauchen.

Die Länge des Sternspektrums ist von einer Reihe von Einflüssen abhängig. Abgesehen von dem absoluten Werth der Dispersion der Luft — nach den Untersuchungen von Ketteler ist die Dispersion für das sichtbare Spektrum (A bis H) ungefähr gleich 3% der Refraktion; für das unsichtbare, chemisch wirksame Spektrum liegen keine genauen Zahlen vor — kommen hierfür vorwiegend in Anrechnung *erstens die Art* des von dem Stern ausgesandten *Lichtes* und *zweitens die Art der Absorption*, welche die Lichtstrahlen auf ihrem Wege zu uns durch die von ihnen durchlaufenen Medien erleiden. Zu diesen Medien gehört nicht allein der Weltenraum, die atmosphärische Luft und die Linse des photographischen Objektivs, sondern auch die photographische Platte selbst, und es ist im Allgemeinen die Mitte des auf der photographischen Platte entstehenden Spektrums nicht identisch mit der Mitte des auf die Platte auffallenden Spektrums, geradeso wie auch das menschliche Auge (Retina-Absorption) die Mitte des wahrgenommenen Spektrums an eine andere Stelle verlegt, wie die photographische Platte und wie das Bolometer (Russ-Absorption).

Die Maximalenergie des Widerstandes, der sogenannte Schwellenwerth, den das Auge, bezw. die Platte der Energie des ankommenden Lichtes gegenüberstellt und der überwunden werden muss, wenn der Lichtreiz im Auge als Lichtwirkung empfunden, bezw. von der Platte als schwarzer Fleck wiedergegeben werden soll, ist aber nicht allein verschieden für die verschiedenen Aufnahmeapparate, sondern auch für denselben Apparat verschieden für die verschiedenen Farben[1]). Für das Auge sind diese Dinge in den letzten 15 Jahren wiederholt zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht worden (Weber, Ebert, Stenger, Langley u. A.); ebenso weiss man, wie schon der einfache Versuch mit keilförmigem Spalt zeigt, dass die Lage und die Ausdehnung des auf der Platte sich entwickelnden Spektrums sowohl von der Wellenlänge des Lichtes als auch von der Helligkeit des Spektrums abhängig sind.

Wir haben daher allen Grund, dieser Erscheinung unsere besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Nun aber weiss man nach den bisherigen Erfahrungen (Spektralaufnahmen mit keilförmigem Spalt), dass der Schwerpunkt des Sonnenspektrums sich bei zunehmender Helligkeit *nach dem blauen Ende* des Spektrums verschiebt. In dem vorliegenden Falle müssten daher die Mitten der hellen Spektren bei der nach Fig. 20 bewirkten Orientirung des Plattenpaares, die gleiche Art des

---

[1]) Dass durch die sogenannte „*Vorbelichtung*" der Schwellenwerth für alle Farben in gleicher Weise auf den Nullwerth herabgedrückt wird, ist sicherlich nicht der Fall.

ausgesandten Lichtes vorausgesetzt, einander *näher* zu liegen kommen, als die Mitten der schwachen Spektren, während nach den vorstehend dargelegten Erfahrungen gerade das Entgegengesetzte der Fall ist. So lange also noch keine Erfahrungen darüber vorliegen, dass bei Sternspektren das entgegengesetzte Verhalten eintritt, können wir diese Erscheinung vorläufig nicht zur Erklärung des Effektes heranziehen. Besondere Versuche nach dieser Richtung sind mir nicht bekannt.

Um so grössere Bedeutung müssen wir daher zur Zeit dem Unterschied in der *Farbe der Sterne* beilegen[1]). Die vorhandenen Unterschiede in der Farbe der Sterne sind bei vielen Sternen schon mit blossem Auge sichtbar. Die Spektralanalyse der Gestirne theilt die Sterne in verschiedene *Spektralklassen*, die sich sowohl nach der *Art der Spektren*, als auch nach der *Ausdehnung des Spektrums nach dem violetten Ende hin* wesentlich unterscheiden. Wenn nun aber dieser Farbenunterschied für die von uns beobachtete Veränderung der Schwerpunktslage ungleich heller Sternspektren verantwortlich gemacht werden soll, so müssen wir aus dem von uns beobachteten Sinne der Verrückung (vgl. weiter oben) *schliessen, dass der Schwerpunkt der hellen Sternspektren in den von uns beobachteten Fällen* — ich wiederhole, dass auch Ausnahmen beobachtet wurden — *dem rothen Ende des Spektrums näher gelegen ist, als die Schwerpunkte der schwächeren Sternspektren.* Letztere müssten daher einen in Anbetracht der geringen Helligkeit der Sterne grossen *Reichthum an ultravioletten Strahlen* haben[2]). Ebenso müssten in Anbetracht der Grössenordnung des beobachteten Effektes die wirksamen Spektraltheile bei hellen und schwachen Sternen nicht unerheblich von einander entfernt sein. Eine Untersuchung, welche die Spektralklassen der Sterne in Beziehung zu den Grössenklassen derselben bringt, wozu die vorstehenden Erfahrungen und Ueberlegungen direkt auffordern, ist mir nicht bekannt. Sollte sich dieser durch die vorstehende Betrachtung wahrscheinlich gemachte Zusammenhang bestätigen, so wäre in dem Stereo-Komparator zugleich eine Art *Spektroskop* gegeben, welches die verschieden gefärbten Sterne in bequemster Weise von einander zu unterscheiden gestattet, und es wäre nur nothwendig, um möglichst reine stereoskopische Effekte zu erhalten, die Aufnahmen symmetrisch zum Meridian und möglichst weit ab von demselben zu bewerkstelligen. Für diesen Zweck wäre es dann aber vortheilhaft, ganz auf die Luft als dispergirendes Medium zu verzichten, diese Funktion einem Prisma von sehr kleinem Winkel (etwa 1^0) zu übertragen, und dann die Aufnahmen im Meridian zu machen, wobei das Prisma bei der zweiten Aufnahme um die Achse des Objektivs um 180^0 gedreht ist.

Schlussbemerkungen. Der von uns beobachtete stereoskopische Effekt in dem Verhalten ungleich heller Sterne dürfte aber nicht allein für spektroskopische Studien, sondern vor Allem für die *Bestimmung von Fixsternparallaxen*, insofern sich dieselbe auf die Ausmessung photographischer Platten gründet[3]), grosse Bedeutung haben. Denn wenn man, wie wir gesehen haben, bei photographischen Aufnahmen in verschiedenen Höhen in dem linearen Abstand ungleich heller Sterne von einander Unterschiede im Betrage von mehreren Sekunden erhält, so sind selbst bei Benutzung von Vergleichssternen angenähert gleicher Grössenordnung Unterschiede nicht ausgeschlossen, die den zu messenden Betrag der Parallaxe 0,1″ bis 0,01″ weit überschreiten. Dass hier

---

[1]) Die Möglichkeit einer einseitigen Abkürzung des Spektrums durch *Solarisation* soll hier nur angedeutet werden.

[2]) Gegen diese Erklärung spricht allerdings der Umstand, dass sich die schwachen Sterne alle gleich verhalten.

[3]) Uebrigens müssten sich derartige Einflüsse auch bei Okularbeobachtungen geltend machen.

eine für die Parallaxenbestimmung gefährliche Fehlerquelle vorliegt und dass diese Fehlerquelle bis jetzt noch keine allgemeine Beachtung gefunden hat, glaube ich daraus entnehmen zu dürfen, dass vor Kurzem Hr. Prof. Seeliger in München eine Arbeit „Ueber den Einfluss der Dispersion der Luft auf die Bestimmung kleiner Fixsternparallaxen"[1]) veröffentlicht hat, in der ebenfalls auf den Einfluss der Dispersion im Sinne einer Fehlerquelle für die Parallaxenbestimmung hingewiesen wird.

Ich komme zum Schluss. Wenn ich mich im Vorstehenden bemüht habe, den verschiedenen für die Erklärung des von uns beobachteten stereoskopischen Effektes in Betracht kommenden Ursachen nachzuforschen, so bin ich damit keineswegs der Ansicht, dass damit eine nunmehr endgültige Entscheidung herbeigeführt ist. Ich bin vielmehr der Meinung, dass noch zahlreiche Studien, Versuche und eigens für diesen Zweck bestimmte Sternaufnahmen erforderlich sind, um zu einer vollständigen Klarstellung der Dinge zu gelangen. Aber die vollständige Aufklärung der noch in Frage stehenden Punkte wird nicht mehr lange auf sich warten lassen, denn die ersten der in Fabrikation befindlichen Stereo-Komparatoren werden schon in nächster Zeit die Werkstatt verlassen und dann in den Händen der berufenen Vertreter der Astronomie dazu beitragen, die in diesem Theil meines Aufsatzes niedergelegten Beobachtungen und Erfahrungen zu erweitern und zu vertiefen.

(Fortsetzung folgt.)

Zusammenstellung und Vervollständigung der Rechnungsformeln für die Bestimmung der periodischen Fehler von Mikrometerschrauben.

Von

Hans Rosenberg in Berlin.

Auf Anregung von Hrn. Geh.-Rath Prof. Dr. W. Foerster und mit freundlicher Rathertheilung von seiner Seite habe ich im hiesigen Universitätsseminar für wissenschaftliches Rechnen eine Zusammenstellung der Rechnungsformeln für eine möglichst bequeme Bestimmung der periodischen Fehler von Mikrometerschrauben unternommen, welche ich mir erlaube hiermit zu gelegentlichem Gebrauche mitzutheilen.

Irgend etwas wesentlich Neues ist zwar in dieser Zusammenstellung nicht enthalten, da der Gegenstand schon längst ziemlich erschöpfend behandelt ist. Ich möchte nur auf die grundlegende Arbeit von Bessel bei der Untersuchung des Heliometers der Königsberger Sternwarte (Astr. Untersuchungen I, *S. 55*) und auf den Aufsatz von Hrn. Prof. Westphal in *dieser Zeitschr. 1. S. 149, 229, 250, 397. 1881* verweisen. Doch wird die nachstehend dargelegte Anordnung und Abstufung der Näherungsrechnungen, in Verbindung mit einigen kleinen Verbesserungen, sich vielleicht als nützlich, insbesondere als dienlich zur Vermeidung von Genauigkeitsluxus erweisen.

Bezeichnen wir die Ablesung der Schraubentrommel, also des Drehungswinkels, mit L und die für periodische Ungleichheit anzubringende Korrektion mit $\varphi(L)$, so können wir $\varphi(L)$ darstellen durch die bekannte epizyklische Reihe

$$\varphi(L) = \alpha_1 \sin L + \beta_1 \cos L + \alpha_2 \sin 2L + \beta_2 \cos 2L + \ldots \ldots \quad 1)$$

Man wird bei den meisten Schrauben mit diesen vier Gliedern der Reihe auskommen. Die ganze Berechnung ist dann zurückgeführt auf die Bestimmung

[1]) *Astron. Nachr. 1902. Nr. 3795. S. 34.*

von α_1, β_1, α_2, β_2, die nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ausgeführt werden soll.

Zur Bestimmung der periodischen Schraubenfehler wird bekanntlich ein konstantes Hülfsintervall bei verschiedenen Einstellungen der Schraubentrommel ausgemessen, und zwar so, dass man aliquote Theilstufen des Umfanges der Trommel zu Anfangspunkten der einzelnen Messungen macht.

Die Ablesungen der Schraubentrommel bei der Einstellung auf die beiden Begrenzungsstriche des Hülfsintervalls seien L_i und L'_i, ihre Differenz, also der gemessene Intervallwerth, heisse f_i. Bezeichnen wir nun die Abweichung des wahren Intervallwerthes von dem gemessenen mit $f_0 - f_i$, so haben wir für f_0 den Ausdruck

$$f_0 = f_i + \varphi(L_i + f_i) - \varphi(L_i)$$

oder nach Einführung des Reihenausdruckes 1)

$$f_0 - f_i = \alpha_1 [\sin(L_i + f_i) - \sin L_i] + \beta_1 [\cos(L_i + f_i) - \cos L_i]$$
$$+ \alpha_2 [\sin 2(L_i + f_i) - \sin 2 L_i] + \beta_2 [\cos 2(L_i + f_i) - \cos 2 L_i] + \ldots \quad 2)$$

Durch goniometrische Umgestaltung bringen wir diese Reihe auf die Form

$$f_0 - f_i = + 2\alpha_1 \sin\frac{1}{2} f_i \cos\left(L_i + \frac{1}{2} f_i\right) - 2\beta_1 \sin\frac{1}{2} f_i \sin\left(L_i + \frac{1}{2} f_i\right)$$
$$+ 2\alpha_2 \sin f_i \cos 2\left(L_i + \frac{1}{2} f_i\right) - 2\beta_2 \sin f_i \sin 2\left(L_i + \frac{1}{2} f_i\right) + \ldots$$

Hier können wir in erster Näherung $\sin {}^1\!/_2 f_i$ und $\sin f_i$ durch $\sin {}^1\!/_2 f_0$ und $\sin f_0$ ersetzen, indem wir die Glieder von der Ordnung der Quadrate und Produkte der kleinen Koeffizienten α_1, β_1, α_2, β_2 vernachlässigen. Nehmen wir diese Vereinfachung vor und setzen ausserdem

$$\left.\begin{array}{ll} +2\alpha_1 \sin\frac{1}{2} f_0 = x_1 & -2\beta_1 \sin\frac{1}{2} f_0 = y_1 \\ +2\alpha_2 \sin f_0 = x_2 & -2\beta_2 \sin f_0 = y_2 \\ L_i + \frac{1}{2} f_0 = \lambda_i & \end{array}\right\} \ldots \quad 2a)$$

so lautet jetzt die Gleichung

$$f_0 - f_i = x_1 \cos\lambda_i + y_1 \sin\lambda_i + x_2 \cos 2\lambda_i + y_2 \sin 2\lambda_i + \ldots \quad 2b)$$

Aus n solchen Gleichungen für die Werthe von $i = 1$ bis $i = n$ haben wir jetzt f_0, x_1, y_1, x_2, y_2 zu berechnen. In Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler werden, selbst wenn der Reihenausdruck erschöpfend genau wäre, die Gleichungen nicht genau erfüllt sein. Nennen wir die einzelnen unbekannten Beobachtungsfehler V_i, so haben wir

$$V_i = f_0 - f_i - (x_1 \cos\lambda_i + y_1 \sin\lambda_i + x_2 \cos 2\lambda_i + y_2 \sin 2\lambda_i + \ldots) \quad 3)$$

Bestimmen wir nun nach der Theorie der kleinsten Fehlerquadrate die fünf Normalgleichungen und setzen zur Abkürzung, wobei Σ das bekannte Zeichen der Summenbildung ist,

$$\left.\begin{array}{lll} \frac{1}{n}\Sigma f_i = f_m & f_m - f_i = l_i^0 & \\ \frac{1}{n}\Sigma\cos\lambda_i = C_1 & \frac{1}{n}\Sigma\cos 2\lambda_i = C_2 & \frac{1}{n}\Sigma\cos 3\lambda_i = C_3 \text{ u. s. f.} \\ \frac{1}{n}\Sigma\sin\lambda_i = S_1 & \frac{1}{n}\Sigma\sin 2\lambda_i = S_2 & \frac{1}{n}\Sigma\sin 3\lambda_i = S_3 \text{ u. s. f.} \end{array}\right\} \quad 4)$$

so lauten die Normalgleichungen

$$\left.\begin{array}{l}
f_0 = f_m + x_1 C_1 + y_1 S_1 + x_2 C_2 + y_2 S_2 + \ldots \\
x_1 \left\{ \Sigma \cos^2 \lambda_i - n C_1^2 \right\} = \\
\Sigma l_i^0 \cos \lambda_i - \frac{1}{2} y_1 (S_2 - 2n C_1 S_1) - \frac{1}{2} x_2 (C_1 + C_3 - 2n C_1 C_2) - \frac{1}{2} y_2 (S_1 + S_3 - 2n C_1 S_2) \\
y_1 \left\{ \Sigma \sin^2 \lambda_i - n S_1^2 \right\} = \\
\Sigma l_i^0 \sin \lambda_i - \frac{1}{2} x_1 (S_2 - 2n S_1 C_1) - \frac{1}{2} x_2 (S_3 - S_1 - 2n S_1 C_2) - \frac{1}{2} y_2 (C_1 - C_3 - 2n S_1 S_2) \\
x_2 \left\{ \Sigma \cos^2 2\lambda_i - n C_2^2 \right\} = \\
\Sigma l_i^0 \cos 2\lambda_i - \frac{1}{2} x_1 (C_1 + C_3 - 2n C_2 C_1) - \frac{1}{2} y_1 (S_3 - S_1 - 2n C_2 S_1) - \frac{1}{2} y_2 (S_4 - 2n C_2 S_2) \\
y_2 \left\{ \Sigma \sin^2 2\lambda_i - n S_2^2 \right\} = \\
\Sigma l_i^0 \sin 2\lambda_i - \frac{1}{2} x_1 (S_1 + S_3 - 2n S_2 C_1) - \frac{1}{2} y_1 (C_1 - C_3 - 2n S_2 S_1) - \frac{1}{2} x_2 (S_4 - 2n S_2 C_2)
\end{array}\right\} \quad 5)$$

Diese Gleichungen vereinfachen sich wesentlich bei einer sehr vollkommenen zyklischen Anordnung der Beobachtungen. Wenn nämlich die L_i und demnach auch die λ_i um gleiche Theile des Umfanges, also um je $\frac{2\pi}{n}$ von einander abstehen, werden die C_1, C_2, C_3, C_4 und S_1, S_2, S_3, S_4 gleich 0, ferner

$$\Sigma \cos^2 \lambda_i = \Sigma \sin^2 \lambda_i = \Sigma \cos^2 2\lambda_i = \Sigma \sin^2 2\lambda_i = \frac{n}{2}$$

und die Normalgleichungen reduziren sich auf die Form

$$\left.\begin{array}{ll}
f_0 = f_m & \\
x_1 = \frac{2}{n} \Sigma l_i^0 \cos \lambda_i & y_1 = \frac{2}{n} \Sigma l_i^0 \sin \lambda_i \\
x_2 = \frac{2}{n} \Sigma l_i^0 \cos 2\lambda_i & y_2 = \frac{2}{n} \Sigma l_i^0 \sin 2\lambda_i
\end{array}\right\} \quad \ldots \ldots 6)$$

Sind aber die Bedingungen für diese Vereinfachung nicht genügend erfüllt, was man daraus erkennt, dass die vorstehenden Näherungswerthe der x und y multiplizirt mit den S und C merkliche Beträge erreichen, so kann man doch jedenfalls die vorstehenden fünf Gleichungen zur Bestimmung von Näherungswerthen benutzen, durch welche die genaue Rechnung wesentlich erleichtert wird. Doch werden bei guter Anordnung der Messungen und nicht zu fehlerhafter Schraube diese ersten Näherungswerthe, die wir mit x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0 bezeichnen wollen, meistens schon genügen. Mit diesen x^0 und y^0 berechnen wir dann in erster Näherung

$$\alpha_1^0 = + \frac{x_1^0}{2 \sin {}^1\!/_2 f_m} \qquad \beta_1^0 = - \frac{y_1^0}{2 \sin {}^1\!/_2 f_m} \qquad \alpha_2^0 = + \frac{x_2}{2 \sin f_m} \qquad \beta_2^0 = - \frac{y_2}{2 \sin f_m}.$$

Mit Hülfe dieser Werthe kann dann unter Anwendung der Formel 1) die Tafel für $\varphi(L)$ berechnet werden, falls man die Näherung nicht weiter treiben will.

Erweisen sich die bei der ersten Näherung vernachlässigten Glieder aber als nicht unmerklich, so geht man zu einer zweiten Näherung über. Es kommt hierbei auch auf die Prüfung des Genauigkeitsgrades der Beziehungen zwischen den α, β und den x, y an. Haben sich nämlich für die x^0 und y^0 und demnach auch für die α^0 und β^0 so erhebliche Beträge ergeben, dass ihre Quadrate und Produkte nicht vernachlässigt werden dürfen (siehe hierüber weiter unten das Beispiel), dann kann man

zwischen den α und β einerseits und den x und y andererseits nicht einfach die Beziehungen gelten lassen, die wir unter 2a) aufgestellt haben.

Das Verfahren der zweiten Näherung richtet sich also nach den Umständen. Sind die Quadrate und Produkte der x^0 und y^0 nicht so klein, dass sie unter der nach der Beobachtungsgenauigkeit rathsamen Fehlergrenze der Berechnung liegen, so werden wir von den α^0, β^0 direkt auf die α, β übergehen, indem wir die Formel 2b) mit den x, y und λ_i fallen lassen.

Wenn jedoch die Ungenauigkeit dieser Formel unerheblich ist und der Hauptfehler auf der ungenauen zyklischen Anordnung der Messungen beruht, so gehen wir mit Hülfe der strengeren Differenzialformeln 5) von den x^0, y^0 auf die x, y über und bestimmen dann mit den gefundenen verbesserten Werthen die α, β.

Wir wollen im Folgenden diese beiden Arten der zweiten Näherung getrennt behandeln.

I. Verfahren bei sehr erheblichen Werthen der x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0, aber guter zyklischer Anordnung der Messungen.

Nachdem aus den x^0, y^0 die α^0, β^0 gefunden sind, bestimmen wir deren Verbesserungen so, dass

$$\alpha_1 = \alpha_1^0 + d\alpha_1 \qquad \beta_1 = \beta_1^0 + d\beta_1 \qquad \alpha_2 = \alpha_2^0 + d\alpha_2 \qquad \beta_2 = \beta_2^0 + d\beta_2$$

wird. Man berechnet zunächst analog f_0 aus der ersten der Gleichungen 5)

$$f_0^0 = f_m + x_1^0\, C_1 + y_1^0\, S_1 + x_2^0\, C_2 + y_2^0\, S_2 \quad \ldots \ldots \quad 7)$$

und darf dann in Folge der Kleinheit der C und S jedenfalls annehmen, dass der so gefundene Werth von f_0^0 schon hinreichend genau den definitiven Werth von f_0 darstellt, sodass man setzen kann

$$f_0 - f_i = f_0^0 - f_i$$

und, da

$$f_0^0 - f_i = f_m - f_i + f_0^0 - f_m$$

ist, nach 4) auch setzen kann

$$f_0 - f_i = l_i^0 + f_0^0 - f_m\,.$$

Die rechte Seite dieser Gleichung wollen wir mit l_i bezeichnen. Dann ist nach 2)

$$\begin{aligned} l_i = {} & (\alpha_1^0 + d\alpha_1)\left[\sin(L_i + f_i) - \sin L_i\right] + (\beta_1^0 + d\beta_1)\left[\cos(L_i + f_i) - \cos L_i\right] \\ & + (\alpha_2^0 + d\alpha_2)\left[\sin 2(L_i + f_i) - \sin 2 L_i\right] + (\beta_2^0 + d\beta_2)\left[\cos 2(L_i + f_i) - \cos 2 L_i\right] \quad . \ 8) \end{aligned}$$

Bezeichnen wir hier die in [ ] stehenden Ausdrücke der Reihe nach mit A_i', B_i', A_i'', B_i'', so wird jetzt

$$l_i = (\alpha_1^0 + d\alpha_1)\, A_i' + (\beta_1^0 + d\beta_1)\, B_i' + (\alpha_2^0 + d\alpha_2)\, A_i'' + (\beta_2^0 + d\beta_2)\, B_i'' \quad . \ 8a)$$

Bilden wir entsprechend aus den ersten Näherungswerthen α_1^0, β_1^0, α_2^0, β_2^0

$$(l_i^0) = \alpha_1^0\, A_i' + \beta_1^0\, B_i' + \alpha_2^0\, A_i'' + \beta_2^0\, B_i''$$

und bestimmen die Differenz $l_i - (l_i^0) = (dl_i)$, so hat man

$$(dl_i) = d\alpha_1\, A_i' + d\beta_1\, B_i' + d\alpha_2\, A_i'' + d\beta_2\, B_i'' \quad \ldots \ldots \quad 9)$$

Aus dieser Gleichung bilden wir auf bekannte Weise die Normalgleichungen und erhalten schliesslich

$$\left.\begin{aligned} \Sigma(dl_i)A_i' &= d\alpha_1 \Sigma A_i' A_i' + (d\beta_1 \Sigma B_i' A_i' + d\alpha_2 \Sigma A_i'' A_i' + d\beta_2 \Sigma B_i'' A_i') \\ \Sigma(dl_i)B_i' &= d\beta_1 \Sigma B_i' B_i' + (d\alpha_1 \Sigma A_i' B_i' + d\alpha_2 \Sigma A_i'' B_i' + d\beta_2 \Sigma B_i'' B_i') \\ \Sigma(dl_i)A_i'' &= d\alpha_2 \Sigma A_i'' A_i'' + (d\alpha_1 \Sigma A_i' A_i'' + d\beta_1 \Sigma B_i' A_i'' + d\beta_2 \Sigma B_i'' A_i'') \\ \Sigma(dl_i)B_i'' &= d\beta_2 \Sigma B_i'' B_i'' + (d\alpha_1 \Sigma A_i' B_i'' + d\beta_1 \Sigma B_i' B_i'' + d\alpha_2 \Sigma A_i'' B_i'') \end{aligned}\right\} \ 10)$$

In diesen Gleichungen ist auf der rechten Seite das erste Glied jedes Mal das Hauptglied. Aus diesem berechnen wir Näherungswerthe für die $d\alpha$ und $d\beta$

$$(d\alpha_1) = \frac{\Sigma (dl_i) A_i'}{\Sigma A_i' A_i'} \qquad (d\alpha_2) = \frac{\Sigma (dl_i) A_i''}{\Sigma A_i'' A_i''}$$

$$(d\beta_1) = \frac{\Sigma (dl_i) B_i'}{\Sigma B_i' B_i'} \qquad (d\beta_2) = \frac{\Sigma (dl_i) B_i''}{\Sigma B_i'' B_i''}$$

Die so bestimmten Werthe setzen wir in den zweiten Theil der Normal-Gleichungen ein und erhalten dann für $d\alpha_1$, $d\beta_1$, $d\alpha_2$, $d\beta_2$ die genaueren Werthe

$$\left.\begin{aligned}
d\alpha_1 &= (d\alpha_1) - \frac{1}{\Sigma A_i' A_i'} \left\{(d\beta_1)\, \Sigma B_i' A_i' + (d\alpha_2)\, \Sigma A_i'' A_i' + (d\beta_2)\, \Sigma B_i'' A_i'\right\} \\
d\beta_1 &= (d\beta_1) - \frac{1}{\Sigma B_i' B_i'} \left\{(d\alpha_1)\, \Sigma A_i' B_i' + (d\alpha_2)\, \Sigma A_i'' B_i' + (d\beta_2)\, \Sigma B_i'' B_i'\right\} \\
d\alpha_2 &= (d\alpha_2) - \frac{1}{\Sigma A_i'' A_i''} \left\{(d\alpha_1)\, \Sigma A_i' A_i'' + (d\beta_1)\, \Sigma B_i' A_i'' + (d\beta_2)\, \Sigma B_i'' A_i''\right\} \\
d\beta_2 &= (d\beta_2) - \frac{1}{\Sigma B_i'' B_i''} \left\{(d\alpha_1)\, \Sigma A_i' B_i'' + (d\beta_1)\, \Sigma B_i' B_i'' + (d\alpha_2)\, \Sigma A_i'' B_i''\right\}
\end{aligned}\right\} \quad 11)$$

Nachdem mittels dieser Korrektionen die α und β bestimmt sind, wird die Korrektionstafel nach Formel 1) berechnet.

II. Zweite Näherung bei unvollkommener zyklischer Anordnung der Messungen, aber relativ kleinen Werthen der x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0.

Wir hatten für $f_0 - f_i$ die Gleichung gefunden (vgl. 2b)

$$f_0 - f_i = l_i = x_1 \cos \lambda_i + y_1 \sin \lambda_i + x_2 \cos 2\lambda_i + y_2 \sin 2\lambda_i .$$

Nennen wir jetzt den aus den Näherungswerthen x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0 nach Formel 6) abgeleiteten Werth $(l_i)^0$, sodass

$$(l_i)^0 = x_1^0 \cos \lambda_i + y_1^0 \sin \lambda_i + x_2^0 \cos 2\lambda_i + y_2^0 \sin 2\lambda_i$$

wird, und setzen

$$x_1 = x_1^0 + dx_1 \qquad x_2 = x_2^0 + dx_2$$
$$y_1 = y_1^0 + dy_1 \qquad y_2 = y_2^0 + dy_2$$

und nach Gleichung 7)

$$f_0 = f_0^0 = f_m + x_1^0 C_1 + y_1^0 S_1 + x_2^0 C_2 + y_2^0 S_2$$

und bilden die Differenz

$$f_0^0 - f_i - (l_i)^0 = dl_i ,$$

so wird

$$dl_i = dx_1 \cos \lambda_i + dy_1 \sin \lambda_i + dx_2 \cos 2\lambda_i + dy_2 \sin 2\lambda_i \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12)$$

und

$$V_i = dl_i - (dx_1 \cos \lambda_i + dy_1 \sin \lambda_i + dx_2 \cos 2\lambda_i + dy_2 \sin 2\lambda_i \quad \ldots . \quad 13)$$

Hieraus ergeben sich die mit Hülfe der ersten Näherung vereinfachten Normal-Gleichungen

$$\left.\begin{aligned}
\Sigma (dl_i \cos \lambda_i) &= dx_1\, \Sigma \cos^2 \lambda_i + \frac{1}{2}\, dy_1\, S_2 + \frac{1}{2}\, dx_2\, (C_2 + C_1) + \frac{1}{2}\, dy_2\, (S_2 + S_1) \\
\Sigma (dl_i \sin \lambda_i) &= \frac{1}{2}\, dx_1\, S_2 + dy_1\, \Sigma \sin^2 \lambda_i + \frac{1}{2}\, dx_2\, (S_3 - S_1) + \frac{1}{2}\, dy_2\, (C_1 - C_3) \\
\Sigma (dl_i \cos 2\lambda_i) &= \frac{1}{2}\, dx_1\, (C_2 + C_1) + \frac{1}{2}\, dy_1\, (S_3 - S_1) + dx_2\, \Sigma \cos^2 2\lambda_i + \frac{1}{2}\, dy_2\, S_4 \\
\Sigma (dl_i \sin 2\lambda_i) &= \frac{1}{2}\, dx_1\, (S_2 + S_1) + \frac{1}{2}\, dy_1\, (C_1 - C_3) + \frac{1}{2}\, dx_2\, S_4 + dy_2\, \Sigma \sin^2 2\lambda_i
\end{aligned}\right\} \quad 14)$$

In diesen Gleichungen wollen wir setzen

$$\Sigma \cos^2 \lambda_i = \frac{n}{2}(1+q_1) \qquad \Sigma \sin^2 \lambda_i = \frac{n}{2}(1-q_1),$$

ferner

$$\Sigma \cos^2 2\lambda_i = \frac{n}{2}(1+q_2) \qquad \Sigma \sin^2 2\lambda_i = \frac{n}{2}(1-q_2),$$

wo die Werthe q bei hinreichender zyklischer Anordnung der Messungen so klein sind, dass ihre Quadrate und Produkte zu vernachlässigen sind.

Wir erhalten dann aus den Normalgleichungen für dx_1, dy_1, dx_2, dy_2 die Werthe

$$\left.\begin{aligned}
dx_1 &= \frac{2}{n}(1-q_1)\,\Sigma(dl_i \cos\lambda_i) - (1-q_1)\,[dy_1 S_2 + dx_2(C_3+C_1) + dy_2(S_3+S_1)] \\
dy_1 &= \frac{2}{n}(1+q_1)\,\Sigma(dl_i \sin\lambda_i) - (1+q_1)\,[dx_1 S_2 + dx_2(S_3-S_1) + dy_2(C_1-C_3)] \\
dx_2 &= \frac{2}{n}(1-q_2)\,\Sigma(dl_i \cos 2\lambda_i) - (1-q_2)\,[dx_1(C_3+C_1) + dy_1(S_3-S_1) + dy_2 S_4] \\
dy_2 &= \frac{2}{n}(1+q_2)\,\Sigma(dl_i \sin 2\lambda_i) - (1+q_2)\,[dx_1(S_3+S_1) + dy_1(C_1-C_3) + dx_2 S_4]
\end{aligned}\right\} \quad 15)$$

Diese Gleichungen geben uns eine bequeme Lösung für dx_1, dy_1, dx_2, dy_2, indem wir aus dem ersten Theil Näherungswerthe berechnen, diese in den zweiten Theil einsetzen und so zu den genaueren Werthen gelangen.

Mit Hülfe der so erlangten Korrektionen werden die x_1, y_1, x_2, y_2 bestimmt und mit diesen die α und β berechnet:

$$\alpha_1 = \frac{x_1}{2\sin {}^1/_2 f_0} \qquad \beta_1 = \frac{y_1}{2\sin {}^1/_2 f_0} \qquad \alpha_2 = \frac{x_2}{2\sin f_0} \qquad \beta_2 = \frac{y_2}{2\sin f_0} \qquad 16)$$

Die Korrektionstafel wird dann nach Formel 1) berechnet.

Bestimmung der wahrscheinlichen Fehler.

Wenn die V_i ermittelt sind, so findet man den mittleren Fehler der f_i bekanntlich aus der Formel

$$\mu_f = \sqrt{\frac{[V_i V_i]}{n-(2m+1)}},$$

wobei n die Anzahl der Beobachtungsgleichungen und m die Anzahl der Perioden in Formel 1) bezeichnet, die zur Berechnung mit herangezogen sind. Den wahrscheinlichen Fehler ε_f erhalten wir demnach aus der Gleichung

$$\varepsilon_f = 0{,}674\sqrt{\frac{[V_i V_i]}{n-(2m+1)}}.$$

Um einen ersten Ueberblick über die Grösse der wahrscheinlichen Fehler zu erlangen, wovon die Entscheidung über den Verlauf der zweiten Näherung abhängt, bilden wir zunächst die V_i^0 aus der Gleichung

$$V_i^0 = f_m - f_i - (x_1^0 \cos\lambda_i + y_1^0 \sin\lambda_i + x_2^0 \cos 2\lambda_i + y_2^0 \sin 2\lambda_i)$$

und bestimmen mit dieser einen ersten Näherungswerth des wahrscheinlichen Fehlers der f_i.

Um weiterhin die Richtigkeit der $[V_i V_i]$ für die höheren Näherungen zu prüfen, bilden wir die Summe der Fehlerquadrate ein Mal durch Substitution in die Gleichungen für V_i und rechnerische Quadrirung, das andere Mal durch Quadrirung in der Formel

$$V_i = dl_i - (dx_1 \cos\lambda_i + dy_1 \sin\lambda_i + dx_2 \cos 2\lambda_i + dy_2 \sin 2\lambda_i)$$

oder

$$V_i = (dl_i) - (d\alpha_1 A_i' + d\beta_1 B_i' + d\alpha_2 A_i'' + d\beta_2 B_i'')$$

je nach dem Weg, welchen wir für die zweite Näherung eingeschlagen haben. Aus den auftretenden Unterschieden können wir dann einen Rückschluss auf die Genauigkeit der Rechnung machen (siehe übrigens das Beispiel weiter unten).

Nachdem ε_f gefunden, bestimmen wir die wahrscheinlichen Fehler der x und y. Zu diesem Zweck wollen wir zunächst den wahrscheinlichen Fehler von $\Sigma(f_0 - f_i)\cos\lambda_i$ aufsuchen, von dem wir dann auf ε_{x_1} übergehen werden. Setzen wir hierbei für f_0^0 seinen Näherungswerth $\frac{1}{n}\,\Sigma f_i$, so wird

$$\begin{aligned}\Sigma(f_0 - f_i)\cos\lambda_i = \cos\lambda_1 &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right) f_1 + \frac{1}{n}(f_2 + f_3 + f_4 + \ldots f_n)\right\} \\ + \cos\lambda_2 &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right) f_2 + \frac{1}{n}(f_1 + f_3 + f_4 + \ldots f_n)\right\} + \ldots \\ + \cos\lambda_n &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right) f_n + \frac{1}{n}(f_1 + f_2 + f_3 + \ldots f_{n-1})\right\}.\end{aligned}$$

Für das Quadrat des wahrscheinlichen Fehlers dieser Summe ergiebt sich dann die Reihe

$$\begin{aligned}\varepsilon^2_{\Sigma(f_0 - f_i)\cos\lambda_i} = \cos^2\lambda_1 &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 \varepsilon^2_{f_1} + \frac{1}{n^2}(\varepsilon^2_{f_2} + \varepsilon^2_{f_3} + \ldots \varepsilon^2_{f_n})\right\} \\ + \cos^2\lambda_2 &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 \varepsilon^2_{f_2} + \frac{1}{n^2}(\varepsilon^2_{f_1} + \varepsilon^2_{f_3} + \ldots \varepsilon^2_{f_n})\right\} + \ldots \\ + \cos^2\lambda_n &\left\{\left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 \varepsilon^2_{f_n} + \frac{1}{n^2}(\varepsilon^2_{f_1} + \varepsilon^2_{f_2} + \ldots \varepsilon^2_{f_{n-1}})\right\}.\end{aligned}$$

Da aber bei der Bestimmung des wahrscheinlichen Fehlers ε_f für alle f_i die gleiche Genauigkeit angenommen war, so geht die Reihe über in die Gestalt

$$\varepsilon^2_{\Sigma(f_0 - f_i)\cos\lambda_i} = \varepsilon_f^2 \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \Sigma\cos^2\lambda_i.$$

Wir gehen jetzt auf das Quadrat des wahrscheinlichen Fehlers von x_1 über. Für x_1 war aus der zweiten der Gleichungen 5) der Näherungswerth

$$x_1 = \frac{\Sigma(f_0 - f_i)\cos\lambda_i}{\Sigma\cos^2\lambda_i}$$

gefunden. Setzen wir jetzt wiederum

$$\Sigma\cos^2\lambda_i = \frac{n}{2}(1 + q_1),$$

so finden wir

$$\varepsilon^2_{x_1} = \left(\frac{2\,\varepsilon_f}{n\,(1 + q_1)}\right)^2 \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \frac{n}{2}(1 + q_1)$$

und

Entsprechend ergiebt sich

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_{x_1} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{2}{n\,(1 + q_1)} \cdot \frac{n-1}{n}} \\ \varepsilon_{y_1} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{2}{n\,(1 - q_1)} \cdot \frac{n-1}{n}} \\ \varepsilon_{x_2} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{2}{n\,(1 + q_2)} \cdot \frac{n-1}{n}} \\ \varepsilon_{y_2} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{2}{n\,(1 - q_2)} \cdot \frac{n-1}{n}}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 17)$$

Bestimmen wir jetzt die wahrscheinlichen Fehler der α und β. Nach Gleichung 16) finden wir

$$\varepsilon_{\alpha_1} = \frac{\varepsilon_{x_1}}{2 \sin {}^1/_2 f_0{}^0} \qquad \varepsilon_{\alpha_2} = \frac{\varepsilon_{x_2}}{2 \sin f_0{}^0} \qquad \varepsilon_{\beta_1} = \frac{\varepsilon_{y_1}}{2 \sin {}^1/_2 f_0{}^0} \qquad \varepsilon_{\beta_2} = \frac{\varepsilon_{y_2}}{2 \sin f_0{}^0}.$$

Setzen wir in diese Gleichungen die Werthe für $\varepsilon_{x_1}, \varepsilon_{x_2}, \varepsilon_{y_1}, \varepsilon_{y_2}$ ein, so erhalten wir

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_{\alpha_1} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{1}{2n \sin^2 {}^1/_2 f_0{}^0}} \sqrt{\frac{1}{1+q_1}} \\
\varepsilon_{\beta_1} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{1}{2n \sin^2 {}^1/_2 f_0{}^0}} \sqrt{\frac{1}{1-q_1}} \\
\varepsilon_{\alpha_2} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{1}{2n \sin^2 f_0{}^0}} \sqrt{\frac{1}{1+q_2}} \\
\varepsilon_{\beta_2} &= \varepsilon_f \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{1}{2n \sin^2 f_0{}^0}} \sqrt{\frac{1}{1-q_2}}
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 18)$$

In diesen Gleichungen 18) können wir $\sqrt{\frac{1}{1 \pm q_1}}$ und $\sqrt{\frac{1}{1 \pm q_2}}$ weglassen, da sie sehr nahe gleich 1 sein werden. Dann wird aber

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_{\alpha_1} = \varepsilon_{\beta_1} &= \frac{\varepsilon_f}{n} \sqrt{\frac{n-1}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 {}^1/_2 f_0{}^0}} \\
\varepsilon_{\alpha_2} = \varepsilon_{\beta_2} &= \frac{\varepsilon_f}{n} \sqrt{\frac{n-1}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sin^2 f_0{}^0}}
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 19)$$

Endlich wollen wir noch den wahrscheinlichen Fehler der Funktion

$$\varphi(L) = \alpha_1 \sin L + \beta_1 \cos L + \alpha_2 \sin 2L + \beta_2 \cos 2L + \ldots$$

darstellen. Setzen wir die aus Gleichung 16) für die α und β und die aus 6) für die x und y gefundenen Werthe in die Reihe 1) ein, so ergiebt sich

$$\varphi(L) = \frac{\Sigma(l_i \cos \lambda_i) \sin L}{\Sigma(\cos^2 \lambda_i) 2 \sin {}^1/_2 f_0} - \frac{\Sigma(l_i \sin \lambda_i) \cos L}{\Sigma(\sin^2 \lambda_i) 2 \sin {}^1/_2 f_0} + \frac{\Sigma(l_i \cos 2\lambda_i) \sin 2L}{\Sigma(\cos^2 2\lambda_i) 2 \sin f_0} - \frac{\Sigma(l_i \sin 2\lambda_i) \cos 2L}{\Sigma(\sin^2 2\lambda_i) 2 \sin f_0}.$$

Wir haben bereits abgeleitet $\varepsilon^2_{\Sigma(f_0 - f_i)} = \varepsilon^2_{l_i}$. Führen wir den erhaltenen Werth $\varepsilon_f^2 \cdot \frac{n-1}{n}$ jetzt hier ein, so finden wir schliesslich für den wahrscheinlichen Fehler von $\varphi(L)$

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\varepsilon_f}{n} \sqrt{\frac{n-1}{2}} \sqrt{\left(\frac{\sin^2 L}{1+q_1} + \frac{\cos^2 L}{1-q_1}\right) \frac{1}{\sin^2 {}^1/_2 f_0} + \left(\frac{\sin^2 2L}{1+q_2} + \frac{\cos^2 2L}{1-q_2}\right) \frac{1}{\sin^2 f_0}}.$$

Setzt man auch hier wieder $1 \pm q_1$ und $1 \pm q_2$ gleich 1, so erhalten wir für ε_φ die einfache Form

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\varepsilon_f}{n} \cdot \sqrt{\frac{n-1}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2 {}^1/_2 f_0} + \frac{1}{\sin^2 f_0} + \ldots} \quad \ldots\ldots \quad 20)$$

Ueber den zweckmässigsten Werth des Hülfsintervalles f_0.

Der zweckentsprechendste Werth des Hülfsintervalles f_0 ist naturgemäss derjenige, bei welchem der wahrscheinliche Fehler von $\varphi(L)$ ein absolutes Minimum wird. Wir haben also nichts weiter zu thun, als die soeben für ε_φ abgeleitete Gleichung nach $f_0{}^0$ zu differenziren und den Differenzialquotienten gleich 0 zu setzen. Es ist selbstverständlich, dass der Werth für $f_0{}^0$ ein anderer werden muss, je nachdem wir einen, zwei oder mehr Epizykel in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen.

So ergiebt sich z. B. bei *einer* Periode 180°, bei *zweien* nahezu 112° oder 248° als günstigster Werth für f_0^0, d. h. als der bezügliche Bruchtheil eines Schraubenganges oder einer Umdrehung, um welche f_0^0 aber auch eine ganze Umdrehung oder einige wenige Umdrehungen übertreffen kann.

Zusammenfassung.

Wenn es sich darum handelt, möglichst bequem die periodischen Fehler einer Mikrometer-Schraube zu ermitteln, so würde sich also folgender Weg empfehlen.

Unter Annahme vollkommen zyklischer Anordnung der Messungen werden die ersten Näherungswerthe x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0 und auch ihre wahrscheinlichen Fehler berechnet. Die Genauigkeit hierfür ist ziemlich ausreichend, und man bekommt sofort, je nachdem diese Werthe ihre wahrscheinlichen Fehler übertreffen oder nicht, einen Ueberblick über die Realität der verschiedenen Epizykel. Dann werden aus den x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0 die α_1^0, β_1^0, α_2^0, β_2^0 abgeleitet. Die so gewonnenen Näherungswerthe sind als ausreichend zur Berechnung der $\varphi(L)$ zu erachten, wenn die α und β nur von einer solchen Grössenordnung sind, dass ihre Quadrate und Produkte, ausgedrückt in Bruchtheilen einer Umdrehung der Schraube, klein genug sind, um in Betracht der Beobachtungsgenauigkeit vernachlässigt werden zu können (Näheres hierüber vgl. unten beim Beispiel).

Erscheint Letzteres nicht zulässig, so muss die zweite Näherung eintreten, die dann zugleich die Mängel der zyklischen Anordnung der Messungen unschädlich macht, indem man sofort die Normal-Gleichungen auf die Form mit den α und β und den Koeffizienten A_i und B_i bringt.

Sind dagegen die x und y, sowie die α und β so klein, dass ihre Quadrate und Produkte nicht in Frage kommen, so wird eine zweite Näherung doch in den Fällen geboten sein, in denen die zyklische Anordnung der Messungen nicht genügend erscheint, um die C und S ganz vernachlässigen zu können. Dann erfolgt aber die zweite Näherung in der x- und y-Formel mit den C und S (vgl. im Uebrigen das nachfolgende Beispiel).

(Fortsetzung folgt.)

Referate.

Die Einwägungen der Landwirthschaftlichen Hochschule bei Westend.

Von O. Eggert. *Zeitschr. f. Vermess.* ***31.*** *S. 1. 1902.*

Dieser Aufsatz ist hier deshalb zu besprechen, weil er die erste eingehende Beschreibung des neuen Vogler'schen Nivellirapparates bietet.

Das Nivellirinstrument ist nach dem Prinzip des Kathetometers eingerichtet; die Latte ist keine Holzlatte mehr, sondern eine Metalllatte.

Das Instrument selbst, nach Prof. Dr. Vogler's Programm von Mechaniker F. Reinecke (Firma A. Meissner) konstruirt, besteht im Wesentlichen aus einer mit drei Fussschrauben vertikal zu stellenden und um die Achse eines Vertikalzapfens im Dreifuss drehbaren Säule, die mit einer in Millimeter getheilten Glasskale verbunden ist. Die Säule dient als Führung für einen sie umschliessenden Schlitten; dieser ist der Träger des Fernrohrs nebst Libelle (3″) und eines gegen die Glastheilung gerichteten Skalenmikroskops, mit dem man $^1/_{10}$ *mm* direkt und $^1/_{100}$ *mm* durch Schätzung ablesen kann. Die feinere Horizontallegung des Fernrohrs geschieht durch eine besondere Kippschraube. Von den drei Horizontalfäden des Fernrohrs dient nur der mittlere zum Nivelliren, die zwei äussern zur Entfernungsbestimmung zwischen Instrument und Latte.

Die Latten, ebenfalls vollständig von Reinecke konstruirt, haben als Theilzeichen für das Nivelliren weisse Kreismarken von 3 *mm* Durchmesser in je 1 *dm* Abstand von einander, die sehr scharf mit dem Nivellirfaden eingestellt werden können; die gewöhnliche *cm*-Theilung der Latten dient nur zur Entfernungsbestimmung.

Der Kasten der Latte besteht aus zwei Mannesmann-Rohren, 3 *m* lang und 2 *cm* dick, die durch 9 *cm* breite Platten aus Aluminiumblech mit einander verbunden sind, während der Abschluss unten und oben je durch eine Rothgussplatte gebildet wird. Die eigentlichen Nivellirskalen, die Träger der *dm*-Zielzeichen, sind zwei Stahllamellen, von je 2 *cm* Breite und 2 *mm* Stärke, die im Innern jenes Kastens untergebracht sind. Die Zielmarken bestehen aus Hartgummischeiben, deren zentrische Bohrung von 3 *mm* Weite mit Gips gefüllt ist. Die Scheiben sind mit Hülfe von kleinen Längsschlitzen für die Befestigungsschrauben etwas verschiebbar, sodass ihre endgültige Lage mit grosser Schärfe hergestellt werden kann.

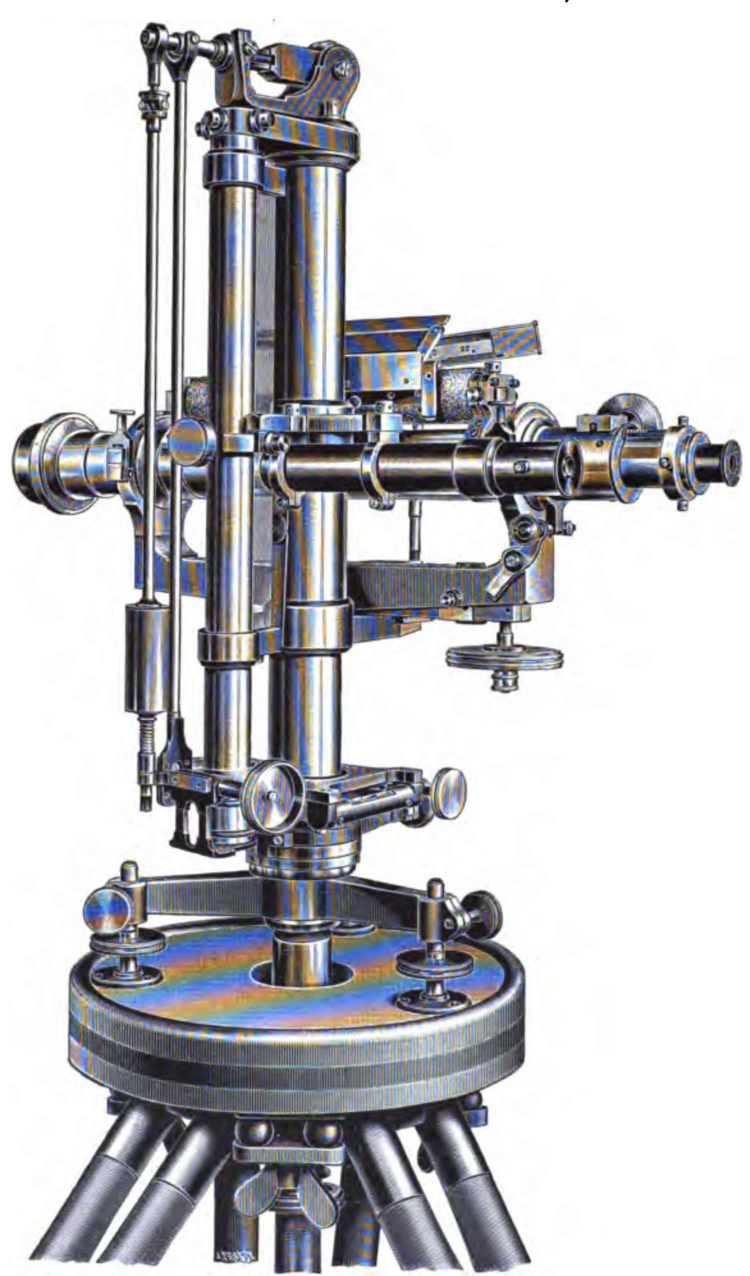


Fig. 1.

Die Zeichen der beiden Stahllamellen einer Latte sind zur Vermeidung grober Fehler um etwa 3 *cm* gegen einander verschoben. Zwischen beiden Stahlstreifen befindet sich eine Zinklamelle, ebenfalls 2 *mm* stark, oben mit den Stahlstreifen fest verbunden, unten frei; Stahllamellen und Zinklamelle zusammen bilden das Metallthermometer. Für jedes Zielzeichen ist aus dem Aluminiummantel ein Loch ausgeschnitten mit angesetztem Metalltrichter, der bis direkt an die Hartgummischeibe reicht und mit zapfenförmigem Ansatz versehen ist, der seitliches Verbiegen der die Nivellirskale bildenden Lamelle verhindert. Diesem Verbiegen wirkt ferner eine starke Zugfeder entgegen, die das obere Ende der Stahllamellen mit der obern Kastendeckplatte verbindet. Die Prüfung der Latten in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ergab ein ganz ausgezeichnetes Resultat.

Das Nivellirinstrument selbst sollte die Vortheile der zwei wichtigsten Verfahren: Einstellung des Horizontalfadens auf eine bestimmte Lattenmarke mit Ablesung der Libelle und

Ablesung am Horizontalfaden bei einspielender Libelle vereinigen lassen. Die Fig. 1[1]) zeigt das Instrument in $^1/_3$ bis $^1/_4$ nat. Gr. Es sind nach den obigen allgemeinen Angaben nur noch wenige Bemerkungen dazu erforderlich. Die Glasskale befindet sich zwischen der Hauptsäule und einer zweiten schwächern Säule (Schutz; Nähe der Mitte des Instruments) von je etwa 35 *cm* Länge. Sie ist 25 *cm* lang, 1,7 *cm* breit und 4 *mm* stark. Eine zylindrische Hülse von 14 *cm* Länge gleitet an der Hauptsäule auf und ab (mit Hülfe von Federn); sie trägt an einem Arm das gegen die Theilung gerichtete Mikroskop, auf der andern Seite endigt der Arm in einen die zweite, exzentrische Säule lose umfassenden Ring, der die Drehung der Hülse beim Gleiten an der grossen Säule verhindert. Der auf dem Arm sich erhebende weitere Aufbau des Instruments besteht nicht, wie fast alle bisher angegebenen Theile, aus Messing, sondern aus Aluminium. Das Fernrohr liegt auf der Wiege in Ringlagern; die Reichel'sche Libelle, durch Glasmantel geschützt, hat, wie schon angedeutet, rund 3″ Empfindlichkeit. Ueber den oben in der Fig. 1 sichtbar werdenden Mechanismus zum Heben und Senken der Hülse sei nur erwähnt, dass ein dünnes Stahlband (Uhrfeder) benutzt ist, das mit dem einen Ende an dem Obertheil der Hülse befestigt ist, während der andere Theil oben über eine Rolle läuft und in die durchbohrte Hauptsäule herabgeht, wo er in eine zylindrische Stange sich fortsetzt, die unterhalb des Dreifusses aus dem Instrument heraustritt und einige Bleiringe trägt, deren Gewicht genau gleich dem des Fernrohrs nebst Libelle und Ablesemikroskop ist (vgl. Fig. 2).


Fig. 2.

Die Hemmung und die Feinbewegung für die Vertikalbewegung des Fernrohrs ist ziemlich komplizirt und mag hier übergangen werden. Das Fernrohr hat bei 40 *mm* Oeffnung 43 *cm* Brennweite und 37-fache, das Mikroskop 10-fache Vergrösserung.

Die Art und Weise der Beobachtung und Berechnung ist sehr eingehend angegeben; es genüge hier aus der Genauigkeitsdiskussion die Notiz, dass in den seit Anwendung der oben kurz beschriebenen Metalllatten statt der Holzlatten ausgeführten Nivellements (vom Aug. 1897 bis Aug. 1898) der *mittlere Kilometerfehler* aus der Ausgleichung sich zwischen

$\pm$ 0,20 und $\pm$ 0,53 *mm*

bewegt (Durchschnitt der 5 in der Tabelle *a. a. O. S.* 7 als mit Metalllatten gemessen angegebenen Zahlen wenig über $^1/_3$ *mm*). Es ist damit der Nivellirfehler des Fein-Nivellements auf etwa $^1/_3$ des bei den sonst üblichen Apparaten auftretenden Betrags herabgebracht. Zweifellos stellt der Vogler-Reinecke'sche Nivellirapparat einen für die Präzisionsnivellirung auf Strecken mit geringen Höhenunterschieden wichtigen Fortschritt dar.

Es ist sehr zu bedauern, dass der frühzeitige Tod Reinecke's ihn nicht mehr dazu kommen liess, sein Vorhaben zu verwirklichen, Ziellatten von ähnlicher, aber einfacherer Einrichtung aus dem schwach ausdehnbaren Nickelstahl herzustellen; hoffentlich holt ein anderer deutscher Mechaniker dies bald nach. *Hammer.*

Fester Wasserstoff.

Von J. Dewar. *Chem. News* **84.** *S. 281. 1901.*

Der Aufsatz enthält eine Reihe von Mittheilungen über Erfahrungen beim Gebrauch des flüssigen und festen Wasserstoffs, sowie über Versuche, welche geeignet sind, das Ver-

[1]) Die beiden Figuren sind von Hrn. Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. Vogler freundlichst zur Verfügung gestellt.

halten der Körper in der tiefsten zur Zeit erreichbaren Temperatur zu kennzeichnen. Von den Versuchen seien einige hier angeführt.

Während der gesättigte Dampf der siedenden Luft etwa dreimal schwerer ist, als die gewöhnliche atmosphärische Luft, ist der des siedenden Wasserstoffs etwa ebenso schwer. Da seine Temperatur aber beträchtlich unter der Erstarrungstemperatur der Luft liegt, so kondensirt er, aus einer flachen Schaale flüssigen Wasserstoffs emporsteigend, die darüber befindliche Luft zu einem dichten Schnee, welcher, in die Schaale herabfallend, die Verdampfung des Wasserstoffs beschleunigt, schliesslich an seine Stelle tritt, allmählich zu schmelzen beginnt und sodann ins Sieden geräth.

Mit Ausnahme von Helium und Wasserstoff erstarren bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs sämmtliche bekannten, bei gewöhnlicher Temperatur gasförmigen Körper. Zur Verflüssigung des Heliums ist ein Ueberdruck nothwendig, den man etwa dadurch erreicht, dass man das eine Ende eines mit Helium gefüllten ∩-Rohrs mit dem Bunsenbrenner auf etwa 300° erhitzt, während das andere in flüssigen Wasserstoff taucht.

Die Erstarrung des Wasserstoffs kann nur in der Weise erfolgen, dass er, gegen Wärmezufuhr von aussen durch flüssige Luft hinreichend geschützt, welche das den Wasserstoff enthaltende Vakuumgefäss umgiebt, bei 50 *mm* Quecksilberdruck zum Sieden gebracht wird. Durch weitere Druckverminderung bis auf 35 *mm* gelang es sogar, mit Hülfe des festen Wasserstoffs eine Temperatur von 15° bis 14° abs. herzustellen, die tiefste zur Zeit erreichte Grenze der praktischen Temperaturmessung.

Untersuchungen über die Aenderung des elektrischen Widerstands von Metallen mit der Temperatur zeigen, dass der Widerstand sich mit fallender Temperatur *asymptotisch* dem Werthe Null nähert.

Zum Schluss seien einige Zahlenwerthe mitgetheilt:

Schmelztemperatur des festen Wasserstoffs bei 35 *mm* Druck	16° abs.
Siedetemperatur des flüssigen „ „ 760 „ „	20,5° abs.
Kritische Temperatur des „	30° bis 32° abs.
Dichte des flüssigen Wasserstoffs beim Schmelzpunkt	0,086
„ „ „ „ „ Siedepunkt	0,07
„ „ gasförmigen Wasserstoffs bei 3000 Atmosphären n. Amagat	0,097
„ „ „ „ „ 4000 „ „ „	0,12
Atomvolumen des schmelzenden Wasserstoffs	11,7

Rt.

Brennpunktseinstellung eines Kollimators oder eines Fernrohres mittels Bestimmung einer Parallaxe.

Von G. Lippmann. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 16. 1902.*

Der Verfasser beschreibt folgendes Verfahren: Der Spalt P des Kollimators soll genau in der Brennebene des Kollimatorobjektives O_1 liegen. Ist dies nur angenähert der Fall, so entwirft O_1 ein Spaltbild P' in dem grossen, aber endlichen Abstande L vom Beobachter.

Man stelle dem Kollimatorobjektiv O_1 (sein Linsendurchmesser sei Δ_1) ein Hülfsfernrohr mit dem grösseren Linsendurchmesser Δ_2 achsenparallel so gegenüber, dass die aus O_1 austretenden, das Bild P' erzeugenden Strahlenbündel durch eine Randparthie des Hülfsfernrohrobjektives O_2 gesammelt werden und ein Spaltbild P'' nahe der Brennebene von O_2 entwerfen. Dieses Bild P'' lässt man mit dem Fernrohrfadenkreuz zusammenfallen. Jetzt wird Fernrohr oder Kollimator senkrecht zur Achse auf einem genau geradlinig beweglichen Schlitten[1]), d. h. genau parallel mit sich, um den Betrag $\Delta_2 - \Delta_1$ verschoben, sodass die Abbildung von P' durch die andre Randparthie von O_2 erfolgt. Die Koinzidenz von Spaltbild und Fadenkreuz findet jetzt nicht mehr statt. Um sie wieder herbeizuführen, muss man das Fernrohr um den Winkel α drehen; dann ist der Abstand von P' vom Beobachter $L = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\alpha}$.

Der Abstand des Spaltes vom Kollimatorobjektiv O_1 ist nun so zu reguliren, dass die

[1]) Vgl. das folgende Referat.

Parallelverschiebung der Objektive gegeneinander um $\Delta_2 - \Delta_1$ die einmal herbeigeführte Koinzidenz von Spaltbild P'' und Fernrohrfadenkreuz nicht mehr aufhebt. Dann ist der Abstand des Bildes P' vom Beobachter $L > \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\alpha}$, wenn jetzt α den Winkel bedeutet, den das Fernrohr eben noch auflöst. Nehmen wir z. B. $\alpha = 0{,}1''$ und $\Delta_2 - \Delta_1 = 5$ *cm*, so wird $L > 100$ *km*.

Natürlich kann man auf dieselbe Weise ein Fernrohrfadenkreuz genau in die Objektivbrennebene einstellen, indem hier das Fadenkreuz die Rolle spielt, wie im eben beschriebenen Falle der Kollimatorspalt. *Wa.*

Prüfung einer Schlittenführung auf Geradlinigkeit.

Von G. Lippmann. *Compt. rend.* **134.** *S. 17. 1902.*

Zwei auf unendlich eingestellte Fernrohre mit den Fadenkreuzen M und N werden mit einander zugekehrten Objektiven so orientirt, dass die Fadenkreuze genau auf einander abgebildet werden, die Fernrohrachsen also annähernd parallel liegen. Das eine Fernrohr ist fest, das andre mit einem Schlitten fest verbunden, und zwar so, dass seine Achse der zu prüfenden Schlittenführung annähernd parallel ist. Wenn man jetzt den Schlitten auf der Führung verschiebt, und die Deckung des Bildes von M mit N bleibt erhalten, so heisst das, die Verschiebung des mit dem Schlitten beweglichen Fernrohres hat den Winkel der Fernrohrachsen nicht verändert; also ist die Schlittenführung geradlinig. Es ist dabei prinzipiell nicht nöthig, dass die Fernrohrachsen genau parallel sind oder gar zusammenfallen und der Schlittenführung parallel sind. Diese Bedingungen sind nur im Interesse einer guten Bildqualität möglichst zu erfüllen, weil dann die Fernrohre bei jener Verschiebung annähernd zentrirt bleiben.

Die genaue Brennpunktseinstellung der beiden Fernrohre muss natürlich nach einer andren Methode als der im vorigen Referat beschriebenen erfolgt sein, oder wenigstens mit einer vorher anderweitig geprüften Schlittenführung. Sonst würde man sich auf einem Zirkel bewegen. *Wa.*

Ueber Quarzprismen.

Von R. Straubel. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 905. 1902.*

Die Autokollimationsmethode liefert mit einem Quarzprisma, dessen optische Achse senkrecht zur Rückfläche steht, einfache Linien; die Rückfläche kann dabei versilbert sein. Die Methode eignet sich daher für spektroskopische Untersuchungen im Ultraviolett, indem das von Cornu angegebene Doppelprisma aus rechts- und linksdrehendem Quarz entbehrt werden kann. *A. K.*

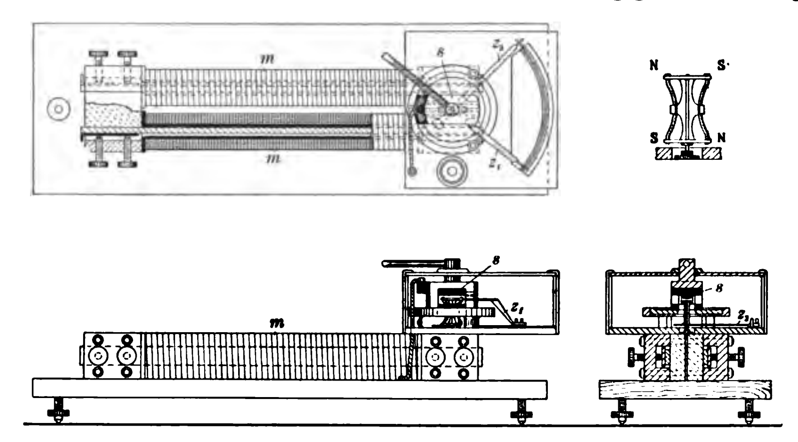
Permeameter für direkte Ablesung.

Von F. G. Baily. *The Electrician* **48.** *S. 172. 1901.*

Zwei gleiche Stäbe von rechteckigem Querschnitt oder zwei Blechbündel aus der zu untersuchenden Eisensorte sind von zwei nebeneinander liegenden Magnetisirungsspulen $m\,m$ umgeben (vgl. die Figur). Die Enden sind in zwei starke Eisenblöcke eingeklemmt. Der eine der Blöcke ist senkrecht zur Kraftlinienrichtung durchschnitten; in den Schnitt ist ein dünnes Messing- oder Kupferblech eingepasst. Ueber diesem Schnitt schwebt in Spitzenlagerung ein astatisches Magnetsystem (vgl. die Figur oben rechts), bestehend aus zwei vertikalen Magnetnadeln. Auf die unteren Magnetpole wirken die Kraftlinien, die an dem Interferrikum aus dem Eisen austreten, auf die oberen Pole eine kleine um die Drehungsachse des Magnetsystems drehbare Spule s, welche mit den beiden Magnetisirungsspulen in Serie geschaltet ist. An einer Skale kann mittels eines an der Spule befestigten Zeigers z_1 die Stellung der letzteren abgelesen werden.

Ist der Magnetisirungsstrom geschlossen, so wird, ähnlich wie beim Sinusgalvanometer, diese Spule so lange gedreht, bis das Magnetsystem in seine durch einen zweiten Zeiger z_2 erkennbare Nulllage kommt. In dieser Nulllage ist die Ebene des Magnetsystems parallel

zu dem Schnitt durch das Eisenjoch. Dadurch wird die auf die unteren Pole wirkende Kraft proportional der Induktion $\mathfrak{B}$ in dem Eisen, während auf die oberen Pole eine Kraft wirkt, die dem Magnetisirungsstrom und damit der magnetisirenden Kraft $\mathfrak{H}$ proportional ist und im Uebrigen von der Stellung der Spule abhängt. Die Stellung der Spule ist daher von dem Quotienten $\mathfrak{B}/\mathfrak{H} = \mu$, d. h. von der Permeabilität abhängig. Die Skale giebt direkt



die Permeabilität an, die Aichung wird empirisch ausgeführt. Die Skale besitzt zwei Theilungen; die erste geht von $\mu = 0$ bis $\mu = 800$. Für höhere Werthe von μ ist eine kleinere magnetisirende Kraft erforderlich; durch einen Umschalter wird $^4/_5$ der Magnetisirungsspule ausgeschaltet; für dieses Messbereich ist daher die Skale mit 0 bis 4000 zu beziffern. Die zugehörige Feldstärke $\mathfrak{H}$ wird an einem Strommesser abgelesen. *E. O.*

Registrir-Elektroskop für atmosphärische Elektrizität.

Von G. Le Cadet. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 745. 1902.*

Der Apparat besteht aus einem Aluminiumblatt-Elektroskop in Verbindung mit einem isolirten Leiter, der an seinem Ende mit einer als Kollektor dienenden radioaktiven Substanz versehen ist. Verf. wählte hierzu das Chlorür von Barium und Radium in einer hermetisch verschlossenen Hülle von Blattaluminium, in der Grösse von $5 \times 1{,}5$ *cm*. Diese Hülle wird am Ende einer 2 *m* langen Metallstange befestigt, welche durch eine abgedrehte und polirte Scheibe von Schwefel isolirt ist; mit der Stange ist das Elektrometer verbunden. Der Ausschlag der Elektrometerblättchen wird photographisch auf einer Trommel fixirt; wegen der Einzelheiten dieser Einrichtung sei auf das Original verwiesen. Nach Angabe des Verf. soll der Apparat dem Einfluss von Sturm und Regen Stand halten; der Vergleich seiner Angaben mit denen eines Wasserkollektors hat befriedigende Resultate ergeben. *W. J.*

Neu erschienene Bücher.

R. Neuhauss, Lehrbuch der Projektion. Lex. 8°. VIII, 124 S. m. 66 Abbildg. Halle, W. Knapp 1901. 4,00 M.

Die Lehre von der Projektion ist bisher nur im Anschluss an andere Gegenstände oder in kurzen Anleitungen behandelt worden. Es ist daher mit Dank zu begrüssen, dass der Verf. es unternommen hat, einen vollständigen Ueberblick über die verschiedenen Apparate und Methoden zu geben. Besondere Anerkennung verdient die Mühe, die sich der Verf. gegeben hat, um die weit zerstreute Literatur zu sammeln und zu ordnen. Bei dem Urtheil über die Einrichtungen der neueren Apparate leitete ihn eine langjährige praktische Erfahrung, die auch der Anleitung und den Rathschlägen für die Projektionsverfahren zu Gute gekommen ist.

Die theoretischen Erörterungen sind möglichst allgemein verständlich gehalten und durch Zahlen- und Rechnungsbeispiele erläutert. Die hier nur spärlich vorhandenen Vorarbeiten sind gut benutzt; doch kann der Ref. einige Ausstellungen nicht unterdrücken. Die Einführung einer nach allen Seiten gleichmässig strahlenden Lichtquelle statt einer kleinen flächenhaften, wie dies bei den theoretischen Entwicklungen geschieht, erregt Bedenken; der Verf. hat dies auch selbst bemerkt (Anm. zu *S. 16*). Bei den Angaben über die Lichtstärke auf *S. 55* hätte die Grösse der leuchtenden Fläche hinzugesetzt werden sollen. Die Wahl der Meniskenform für die der Lichtquelle zugekehrte Linse des Triplet-Kondensors bietet den Vortheil, dass die sphärische Aberration dieser Linse klein ist und die Reflexionsverluste der am Rande der Linse auftreffenden Strahlen etwas geringer als sonst sind; was der Verf. *S. 14 unten* und *S. 15 oben* anführt, beruht auf irrigen Voraussetzungen. Die Reflexionsverluste werden meist, besonders bei schiefem Einfall, zu hoch geschätzt. Auf *S. 35 u. 36* verzichtet der Verf. darauf, die ihm bekannte richtige Theorie anzuwenden, und giebt statt dessen eine Regel für die Aufstellung des Projektionsobjektivs zum Lichtquellenbilde, die nur durch die Behauptung begründet wird, dass sie durch das Experiment bestätigt sei.

Um eine Vorstellung von dem reichen Inhalt des Buches zu geben, mögen die Kapitelüberschriften hergesetzt werden: I. Theil: Der Projektionsapparat mit Zubehör. (Geschichte. Das Gehäuse. Die Beleuchtungslinsen. Die Kühlkammer. Der Bildträger. Das Projektionsobjektiv und die Wechselbeziehungen zwischen Objektiv und Kondensor. Das Glasbild. Der weisse Schirm.) II. Theil: Apparate für besondere Zwecke. (Nebelbilderapparate. Projektion nach der Methode von Ives. Projektion farbiger nach Joly's Verfahren gefertigter Bilder. Projektion farbiger nach Wood's Verfahren gefertigter Bilder. Projektion undurchsichtiger Gegenstände. Panoramaprojektion. Stereoskopische Projektion. Projektion von Reihenbildern. Projektion wissenschaftlicher Versuche. Mikroskopische Projektion. Apparate für die Reise.) III. Theil: Allgemeine Regeln.

Angehängt ist ein alphabetisches Namen- und Sachverzeichniss. *A. K.*

J. A. Montpellier, *Électricité.* 24., vollst. umgearb. Ausgabe. 12°. XII, 352 S. m. Fig. Paris 1902. 2,20 M.

Handbuch der anorgan. Chemie. Hrsg. v. Dr. O. Dammer. IV. Bd. Die Fortschritte d. anorgan. Chemie in d. J. 1892—1902. Bearb. v. Dr. Baur, Dr. R. Meyer, Prof. Muthmann u. s. w. In etwa 5 Lfgn. 1. Lfg. S. 1—160. gr. 8°. Stuttgart, F. Enke 1902. 4,00 M.

E. Pascal, Repertorium der höheren Mathematik (Definitionen, Formeln, Theorie, Literatur). Autoris. deutsche Ausg. nach einer neuen Bearbeitg. d. Originals v. A. Schepp. Analysis u. Geometrie. II. Thl.: Die Geometrie. gr. 8°. IX, 712 S. Leipzig, B. G. Teubner 1902. Geb. in Leinw. 12,00 M.

W. C. L. van Schaik, Wellenlehre u. Schall. Deutsche Ausg. Bearb. v. Prof. Dr. H. Fenkner. gr. 8°. XI, 358 S. m. 176 Abbildgn. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1902. 8,00 M.

G. Quesneville, *Théorie nouvelle de la Loupe et de ses grossissements. Nouvelle dioptrique des rayons visuels.* gr. 8°. 38 S. m. 12 Fig. Paris 1902. 1,50 M.

W. Böttger, Grundriss der qualitativen Analyse vom Standpunkte der Lehre von den Ionen. gr. 8°. XII, 249 u. 15 S. m. 10 Fig., 3 Taf. u. 1 farb. Spektraltaf. Leipzig, W. Engelmann 1902. Geb. in Leinw. u. geh. 7,00 M.

E. Arnold, Die Gleichstrommaschine. Theorie, Konstruktion, Berechng., Untersuchg. u. Arbeitsweise derselben. 1. Bd. Die Theorie d. Gleichstrommaschine. gr. 8°. XVI, 555 S. m. 421 Fig. Berlin, J. Springer 1902. Geb. in Leinw. 16,00 M.

T. Bolas u. **G. E. Brown,** *The Lens. Practical guide to choice, use, testing of photographic Objectives.* 8°. 176 S. m. Fig. London 1902. Geb. in Leinw. 2,70 M.

A. Wolfrum, Chemisches Praktikum. 1. Thl. Analytische Uebgn. 8°. XVII, 562 S. m. 25 Fig. Leipzig, W. Engelmann 1902. Geb. in Leinw. 10,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **September 1902.** Neuntes Heft.

Ueber einen neuen Universal-Spektralapparat.

Von

Dr. **Hans Lehmann**.

(Mittheilung aus der optisch-astronomischen Werkstätte von C. A. Steinheil Söhne in München.)

Trotz der mannigfachen bestehenden Konstruktionen von Spektralapparaten wird doch immer wieder der Wunsch nach zweckentsprechender Aenderung oder Kombination geäussert. Durch einen solchen Fall wurden wir veranlasst, den im Folgenden beschriebenen Universal-Spektralapparat zu konstruiren.

Dieser Apparat ist sowohl mit *Glas-* wie mit *Quarz-Optik* ausgestattet, und als dispergirendes Mittel kann ein *Flintglasprisma*, ein *Rechts-Links-Quarzprisma* nach Cornu oder ein Thorp'sches *Gitter* dienen.

Demgemäss ergab sich folgende, durch Fig. 1 dargestellte Konstruktion.

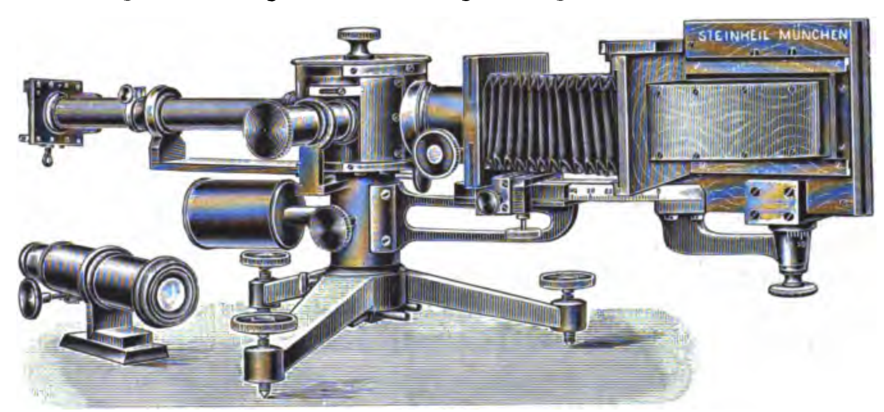


Fig. 1.

Der ganze Apparat ruht auf einem gusseisernen Stativ mit drei Fussschrauben, das in seiner zentrischen Durchbohrung die Drehungsachse des Prismentellers birgt. Die Drehung dieser Achse wird an ihrem unteren Ende bewerkstelligt, und ihre Stellung, die mittels einer Klemmschraube fixirt wird, kann (zum Zwecke der Einstellung auf das Minimum der Ablenkung auf photographischem Wege) an einer rohen Kreistheilung abgelesen werden. Der Prismenteller P (Fig. 2) besteht aus zwei kreisrunden Metallscheiben, von denen die untere fest auf der Drehungsachse sitzt, während die obere durch je drei Zug- und Druckschrauben in der üblichen Weise justirt werden kann. Die Prismen und das Beugungsgitter werden mit Hülfe von Stiften, die am unteren Ende ihrer Fassung angebracht sind, auf dem Teller befestigt. Teller und Prisma werden von der *lichtdichten* Prismenbüchse B umgeben, deren Deckel zum Zweck der Auswechselung und Justirung der optischen Theile leicht abgenommen

werden kann. Auf der einen Seite dieser Büchse ist das Spaltrohr S angebracht, das durch einen stabilen Arm fest mit dem Stativ des Apparates verbunden ist. Die Spaltbreite ist an der Trommeltheilung der Mikrometerschraube ablesbar. Mittels eines Schiebers mit rechteckigem Ausschnitt von der halben Spalthöhe kann zum Zweck der Aufnahme eines Vergleichsspektrums die eine oder die andere Hälfte des Spaltes abgeblendet werden. Zwar ist die „Methode der halben Spaltbedeckung“ nicht einwandfrei, jedoch wird hier dafür gesorgt, dass die beiden Spektren theilweise übereinandergreifen, sodass in Folge der Abbildung der Spektren durch identischen Strahlengang die Gefahr der relativen Linienverschiebung beseitigt ist. Die Länge des Spaltrohres beträgt je nach der Anwendung der Glas- oder Quarzoptik 250 oder 170 *mm*. Der bequemen Einstellung wegen für parallelen Austritt von Strahlen verschiedener Wellenlänge ist der Auszug des Spaltrohres mit einer Theilung versehen. Das gilt besonders für die Quarzlinse, bei welcher die Fokusdifferenz für das ganze photographirbare Spektrum etwa 50 *mm* beträgt. Der Auszug des Spaltrohres wird durch einen Klemmring mit Schraube in seiner Stellung festgehalten.

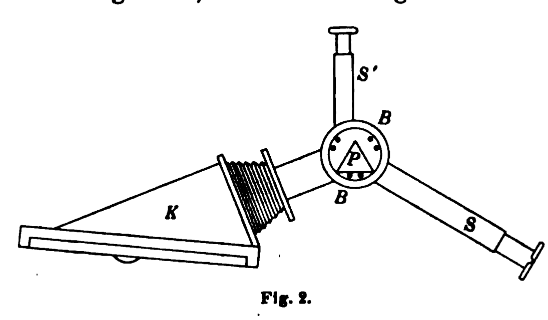


Fig. 2.

Auf der entgegengesetzten Seite des Apparates befindet sich eine Vorrichtung zur Aufnahme des Beobachtungsfernrohres oder der photographischen Kamera. Diese Vorrichtung besteht aus einem Schwalbenschwanz-Schlitten, der von einem um das Stativ des Apparates drehbaren Arm getragen wird, welch letzterer am Stativ festgeklemmt werden kann. Am Stativ ist noch eine rohe Kreistheilung angebracht, sodass man die Stellung des Fernrohres oder der Kamera gegen das Spaltrohr ablesen kann.

Die Konstruktion des Fernrohres ist die allgemein gebräuchliche. Das Okular ist mit Fadenkreuz versehen, auch wird auf Wunsch ein fluoreszirendes Okular beigegeben zur visuellen Beobachtung im Ultraviolett, oder ein Okular mit Quarzlinsen zum Studium der Einwirkung ultravioletter Strahlen auf das Auge.

Die Kamera wird durch einen Balg gebildet, da wegen der schon erwähnten verschiedenen Brennweite der Quarz- und Glaslinsen eine grosse Verschiebung nöthig ist. Letztere wird durch den mit einer Theilung versehenen Schlitten bewerkstelligt. Das Objektivbrett, an dem der Objektivstutzen befestigt ist, wird an dem festen Theil des Schlittens angeklemmt. Bei der Drehung der ganzen Kamera nimmt der Stutzen die vor einem Ausschnitt in der Büchse gleitende Wand mit, sodass die Büchse lichtdicht bleibt. Die feinere Einstellung geschieht durch Zahn und Trieb am Objektiv selbst, an dem ebenfalls eine Theilung angebracht ist.

Die Kamera ist mit einer Vorrichtung versehen, welche es gestattet, der photographischen Platte eine beliebige Neigung gegen die optische Achse zu geben. Zu diesem Zwecke ist die Rückwand der Kamera, der Kasettenrahmen, um einen starken Zapfen drehbar, der in den mittels des Schlittens verschiebbaren Arm eingelassen ist. Die Drehungsachse liegt genau in der Ebene der empfindlichen Schicht der photographischen Platte. Die Neigung der Platte kann an einer Theilung am Drehungskopfe abgelesen und durch eine Klemmschraube fixirt werden. Die starke Neigung der Platte, welche bei Anwendung einfacher Quarzlinsen erforderlich ist und bei einem

Apparate vorliegender Konstruktion bis zu 24° beträgt, ist durch den Balg unmöglich gemacht. Daher wird zwischen Kasettenrahmen und Balg mit Hülfe von lichtdichten Schlittenführungen der keilförmige Holztheil K eingeschoben, der noch einen genügenden Spielraum für eine Neigungsänderung der Platte lässt und der bei Benutzung der Glasoptik mit Leichtigkeit zum Zweck der Senkrechtstellung der Platte entfernt werden kann.

Die beiden Kasetten sind für drei Aufnahmen, jede von der Höhe des ganzen Spaltes, eingerichtet. Das Plattenformat ist 6×9 *cm*.

Die Mattscheibe von gewöhnlichem Glas, auf der man im Dunkeln sehr gut das ultraviolette Spektralgebiet einstellen kann, ist mit einem eingeritzten aufrechten Kreuz versehen, zur leichteren Justirung der Prismen und des Gitters.

Am Stativ des Apparates ist noch ein kleinerer Arm drehbar befestigt, der das Skalenrohr S' trägt. Die Verbindung des Skalenfernrohres mit der Prismenbüchse ist in derselben Weise wie bei der Kamera lichtdicht hergestellt. Dieses Skalenrohr ist nicht, wie es gewöhnlich geschieht, mit einem optischen Achromaten versehen, sondern mit einem *photographischen Objektiv*, einem Aplanaten, sodass man auf der photographischen Platte die ganze Skale scharf erhält. Natürlich kann dieses Skalenrohr auch bei Beobachtungen mit dem Fernrohr angewandt werden. Eine Neigung der Skale entsprechend der photographischen Platte gestattet es, die Skale auch bei Benutzung der Quarzoptik mitzuphotographiren.

Ueber die optische Einrichtung des Apparates ist Folgendes zu erwähnen.

Die Glasoptik besteht aus einem achromatischen Fernrohrobjektiv als Kollimatorlinse von ungefähr 170 *mm* Brennweite und einem Aplanaten als Kameraobjektiv von etwa 250 *mm* Brennweite; das Flintglasprisma hat einen brechenden Winkel von 60°.

Ferner wird noch ein Thorp'sches Gitter beigegeben. Die Thorp-Gitter sind bekanntlich Kopien auf Kollodium von guten Rowland'schen Gittern. Diese Gitter-Kopien geben in der ersten Ordnung recht gute Spektren, die in keiner Weise, abgesehen von der Lichtstärke, denen mancher guten Original-Gitter nachstehen. Allerdings versagen diese Gitter meist schon in der zweiten Ordnung. Jedenfalls haben sie aber den sehr grossen Vorzug der Billigkeit.

Die Quarzoptik besteht aus zwei einfachen Quarzlinsen und einem Rechts-Links-Quarzprisma nach Cornu.

Das Arbeiten mit einfachen Quarzlinsen ist gegenüber der Anwendung von Quarz-Kalkspath- oder Quarz-Flussspath-Systemen von Vortheil, wie auch Autoritäten auf dem Gebiete des ultravioletten Spektrums angeben. So hat z. B. V. Schumann[1]) die Quarz-Flussspath-Achromate als nicht geeignet befunden, auch Eder[2]), Deslandres[3]) u. A. bevorzugen einfache Linsen. Der Vortheil der einfachen Linsen besteht vor Allem darin, dass bei der Abbildung des ganzen photographirbaren Spektrums die Vereinigungspunkte auf einer Kurve liegen, die nur sehr wenig von einer Geraden verschieden ist, während man dieses bei Achromaten nur für eine relativ kurze Strecke erreichen kann. Die Achromaten bieten übrigens nur für das Gebiet ihrer Korrektion den Vortheil der Senkrechtstellung der photographischen Platte.

Die nur geringe Krümmung der Vereinigungskurve des Systems einfache Quarzlinse-Quarzprisma-einfache Quarzlinse rührt, wie leicht erklärlich, daher, dass Prisma und Linsen aus demselben Material hergestellt sind, sodass in dieser Kurve

[1]) V. Schumann, *Photogr. Rundschau 1892. Heft 11.*

[2]) J. M. Eder, *Wiener Denkschr.* **60.** *1893.*

[3]) H. Deslandres, *Ann. de chim. et de phys.* **15.** *S. 5. 1888.*

lediglich die Dispersionskurve des Quarzes zum Ausdruck kommt. Für diesen Fall, dass Prisma und einfache Kamera-Linse aus demselben Material bestehen, hat J. Hartmann[1]) eine Beziehung aufgestellt, indem er zeigt, wie sich für jeden beliebigen Ablenkungswinkel die Plattenneigung sowie die einzustellende Fokusirung mit Leichtigkeit graphisch ermitteln lässt. Jedoch lässt sich dieser Satz nicht ohne Weiteres auf Abbildung des *ganzen* photographirbaren Spektrums anwenden, weil er parallelen Strahlengang im dispergirenden Mittel voraussetzt, was, wie oben erwähnt, selbst mit den besten Achromaten für ein so grosses Intervall nicht erreicht werden kann. Benutzt man aber etwa einen Quarz-Flussspath-Achromaten als Kollimator-Objektiv, so wird zwar die Neigung der Platte nur mehr 45° bis 50° betragen, aber die Vereinigungskurve des Doppelsystems Quarz-Flussspath-Objektiv + einfache Quarzlinse wird viel stärker gekrümmt sein, weil sich ihr die Farbenkurve des Achromaten superponirt.

Bei der Anwendung zweier einfachen Quarzlinsen wird man sich vielmehr der einfachen Abbildungsgleichungen für ein Doppelsystem bedienen, mit deren Hülfe man für eine bestimmte Prismen- und Spaltstellung leicht die Kurve der Platten-Neigung und -Einstellung für verschiedene Wellenlängen graphisch und tabellarisch feststellen kann. Ich habe dies für einen Apparat vorliegender Konstruktion ausgeführt. Vorausgesetzt ist, dass das Spaltrohr für parallelen Strahlengang des mittleren abzubildenden Spektralgebietes eingestellt ist, sowie dass das Prisma im Minimum der Ablenkung für $\lambda_{Cd\,1} = 643$ steht. Es ergab sich für ein Intervall von $\lambda_{Cd\,1} = 643$ bis $\lambda_{Cd\,26} = 214\,\mu\mu$ als Neigung der Platte gegen die optische Achse ein Winkel von 23,65°, eine Länge des Spektrums von 78,6 *mm* und als Krümmungsradius der Vereinigungskurve, wenn man diese in erster Annäherung als Kreisbogen betrachtet, 2,7 Meter. Dieser geringen Abweichung von der Geraden entspricht eine Fokusdifferenz von etwa 11 Zehntausendstel der Brennweite, ein Resultat, welches selbst von den besten Achromaten für ein so grosses Spektralgebiet nicht annähernd erreicht werden kann, wie z. B. Fig. 3 zeigt für ein Quarz-Kalkspath-System, dessen Farbenkurve bei $\lambda_{Cd\,10} = 347\,\mu\mu$ ihren Scheitel hat. Dieses Objektiv ist von Cornu konstruirt und besonders zu Untersuchungen im Sonnenspektrum benutzt worden, welches ja nur bis 300 $\mu\mu$ reicht. Als Ordinaten sind hier die Einstellungen des Fernrohres aufgetragen, welche bei unveränderter Spaltrohr- und Prismenstellung erfolgten, als Abszissen die Kadmiumlinien im Spektrum des benutzten Kalkspath-Prismas.

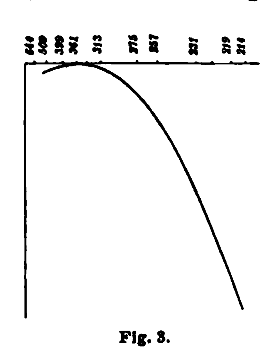
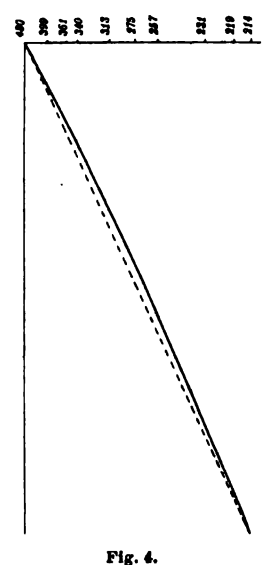


Fig. 3.

Es kommen aber bei der Anwendung von zwei einfachen Linsen noch zwei Punkte in Betracht, welche die Neigung und die Krümmung der Vereinigungskurve beeinflussen. Wegen der Einstellung des Spaltrohres für parallelen Austritt eines Strahlenbündels mittlerer Wellenlänge entsteht theils divergenter, theils konvergenter Strahlengang im dispergirenden Medium, der theils positive, theils negative Fokusdifferenz für die Strahlen verschiedener Wellenlänge zur Folge hat. Dazu kommt noch die Fokusdifferenz, welche in Folge der Dispersion des Prismas durch die ungleichen Weglängen der Strahlen verschiedener Wellenlängen innerhalb des Prismas entsteht. Der Einfluss dieser Thatsachen auf die Vereinigungskurve kann natürlich nur empirisch bestimmt werden. Ich habe die Gestalt und Neigung der

[1]) J. Hartmann, *diese Zeitschr.* **20.** *S. 19. 1900.*

Vereinigungskurve für einen Apparat experimentell ermittelt und in Fig. 4 graphisch dargestellt. Die Voraussetzung ist dieselbe wie bei oben angegebener Berechnung. Als Ordinaten sind die wahren Differenzen der Vereinigungsweiten, als Abszissen die Kadmiumlinien des durch ein Quarzprisma erzeugten Spektrums aufgetragen. Für das Intervall von 480 bis 214 $\mu\mu$ beträgt hiernach die Plattenneigung 25° und der Krümmungsradius der Vereinigungskurve 55,5 *cm*, deren Abweichung von der Geraden einer Fokusdifferenz von 45 Zehntausendstel der Brennweite entspricht, also immerhin noch ein recht gutes Resultat, wenn man es mit der Farbenkurve eines Achromaten vergleicht. So bedienten sich z. B. E. Hagen und H. Rubens[1]) eines Quarz-Flussspath-Systems, welches zwischen 656 und 200 $\mu\mu$ eine Fokusdifferenz von 1 *mm* aufwies, bei einer Brennweite von 150 *mm*; die Fokusdifferenz ist also hier 66 Zehntausendstel der Brennweite, oder $\Delta F/F = 0{,}0066$ des einzelnen Objektives. Benutzt man also zwei solcher Systeme als Kollimator und Kameralinse eines Spektrographen, so werden sich bei der Abbildung des Spektrums die Farbenkurven beider Systeme addiren; dazu kommt noch eine geringe Modifikation des Strahlenganges durch das Prisma, sodass man eine Fokusdifferenz von mindestens 130 Zehntausendstel der Brennweite erhält, also eine 3-mal grössere als mit einfachen Linsen. Ich selbst[2]) hatte Gelegenheit, mit den bekannten Simon'schen Objektiven[3]) zu arbeiten. Diese Quarz-Flussspath-Systeme besitzen zwischen 360 und 186 $\mu\mu$ bei einer Brennweite von 240 *mm* schon für die Achsenstrahlen eine Fokusdifferenz von 2 *mm*; durch Addition der Farbenkurven im Spektrographen ergiebt sich demnach eine chromatische Fokusdifferenz von 160 Zehntausendstel der Brennweite.


Fig. 4.

Ein weiterer Vortheil der Anwendung von einfachen Linsen ist zweifellos die künstliche Verlängerung des Spektrums in Folge der Plattenneigung, was die Ausmessung oder die Reproduktion der Spektrogramme wesentlich erleichtert. Andrerseits aber werden durch die Plattenneigung, wie auch Eder bemerkt, die Linien entsprechend verbreitert, besonders wenn sie durch weit geöffnete Büschel erzeugt werden. Man wird daher die Abbildung möglichst mittels enger Büschel bewerkstelligen, und ich wende zu diesem Zweck die Methode an, dass ich unmittelbar vor den Spalt eine kurzbrennweitige Quarzlinse stelle und in ihren Brennpunkt die Lichtquelle, sodass nur ein schmales Strahlenbündel nahezu parallelen Lichtes den Apparat durchsetzt. Nach dieser Methode erhält man auch bei der beträchtlichen Plattenneigung ganz ausserordentlich enge Linienpaare noch getrennt, auch ist ihr Charakter, d. h. ob sie scharf, verwaschen, beider- oder einerseits unscharf, verbreitert oder umgekehrt sind, auf der Photographie gut zu erkennen. Uebrigens sind die Schlüsse auf den Charakter der Linien aus der Photographie eines so grossen Spektralgebietes nur mit Vorsicht zu ziehen; denn die Spaltebene wird durch ein Prisma unter einer Neigung gegen die optische Achse abgebildet, welche nicht konstant,

[1]) E. Hagen und H. Rubens, Das Reflexionsvermögen einiger Metalle für ultraviolette und ultrarothe Strahlen. *Ann. d. Physik* **5.** *S. 14. 1902.*

[2]) H. Lehmann und R. Straubel, Ultraviolett des Quecksilberspektrums. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 909. 1902.*

[3]) H. Th. Simon, Ueber Dispersion ultravioletter Strahlen. *Wied. Ann.* **53.** *S. 545. 1894.*

sondern eine Funktion des Einfalls- bezw. Austrittswinkels am Prisma ist[1]). Man wird also Linien, welche an erheblich verschiedenen Stellen des Spektrogrammes liegen und die gleiches Aussehen zeigen, nicht denselben Charakter beilegen können.

Der Vortheil der angegebenen Methode der engen Büschel hat darin seinen Grund, dass die durch weite Büschel entstehende Kaustik nach Möglichkeit in eine Brennlinie verwandelt wird. Bei genauen Messungen nach der Koinzidenzmethode durch Vergleichsspektrum ist es allerdings nöthig, dass der Strahlengang bei Erzeugung beider Spektren vollständig identisch ist, was man durch mikrometrisch messbare Verschiebung der Elektroden senkrecht zur Spaltrichtung leicht erreichen kann. Andernfalls würde, wenn Prisma und Linsen an verschiedenen Stellen durchsetzt würden, sich auf der Photographie des einen Spektrums eine Fokusdifferenz durch Unschärfe der Linien und, falls die sphärische Aberration der Linsen durch Abblenden nicht genügend verringert ist, auch eine relative Linienverschiebung, d. h. eine Verschiebung des einen Spektrums gegen das andere bemerkbar machen.

Im Allgemeinen wird man das Prisma für ein mittleres Gebiet des abzubildenden Spektrums auf das Minimum der Ablenkung einstellen, im Einklang mit der Einstellung des Spaltrohres auf parallelen Austritt von Strahlen mittlerer Wellenlänge. Jedoch ist die genaue Einhaltung dieser Regel für die *Definition* der Linien nicht von Belang; man wird lediglich die relative Lage der Linien gegeneinander beeinflussen.

Die sphärische Aberration der einfachen Quarzlinsen ist durch die Wahl ihrer Radien, die sich etwa wie 1 : 6 verhalten, und durch die Verkleinerung ihrer relativen Oeffnung, d. h. durch die Verlängerung ihrer Brennweite gegenüber der dem Apparat beigegebenen Glasobjektive nach Möglichkeit behoben. Die Krystallachse der Linsen ist parallel der optischen Achse, auch ist die kleinstmögliche Dicke gewählt worden, um die Doppelbrechung möglichst zu vermeiden und so die Schärfe der Spektrallinien zu erhalten.

Die Beseitigung der Linienverdopplung durch das Quarzprisma kann man auf verschiedene Weise erreichen, z. B. dadurch, dass man zwei Quarzprismen, deren Krystallachse senkrecht zur Halbirungslinie des brechenden Winkels steht und von denen das eine aus rechts-, das andere aus linksdrehendem Quarze hergestellt ist, hintereinander stellt. Eine neue Methode beschreibt R. Straubel[2]), welcher die Autokollimation anwendet. Am vortheilhaftesten ist wohl das Rechts-Links-Quarzprisma nach Cornu. Ein solches befindet sich auch bei dem Apparate der beschriebenen Konstruktion. Es besteht aus zwei Prismen mit einem brechenden Winkel von 30° aus rechts- bezw. linksdrehendem Quarze, die zu einem Prisma mit dem brechenden Winkel von 60° zusammengesetzt werden. Die Krystallachse steht in beiden Theilprismen senkrecht auf der Trennungsfläche.

Das Cornu'sche Prisma dieses Apparates ist nicht, wie es gewöhnlich geschieht, mit Wasser oder Glyzerin zusammengekittet, sondern die beiden Theilprismen werden „aneinandergesprengt", d. h. sie werden mit ihren vollständig planen Flächen im staubfreien Raume aneinandergepresst, sodass sie durch Atmosphärendruck zusammengehalten werden. Diese Vereinigung ist ausserordentlich dauerhaft und lässt sich nur durch starkes Erwärmen des Prismas lösen. Der Lichtverlust an der Trennungsfläche eines derartig zusammengesetzten Prismas

[1]) Vgl. R. Straubel, Ueber die Abbildung einer Ebene durch ein Prisma. *Ann. d. Physik* **8.** *S. 63. 1902.*

[2]) *Ann. d. Physik* **7.** *S. 907. 1902.*

ist natürlich sehr gering; auch ist bei feinen Absorptionsuntersuchungen kein Kittmittel vorhanden, das wie Wasser oder Glyzerin störend wirken könnte. Ferner wird durch die Trennungsfläche eines solchen Prismas der Strahlengang nicht beeinflusst, wie dies bei den verkitteten Prismen in Folge von Druckdifferenzen innerhalb der Kittflüssigkeiten geschieht. Es bleibt also die Schärfe der Linien gewahrt.

Aus allen diesen Erörterungen geht hervor, dass man bei einem Quarzspektrographen gerade die Eigenschaften vermeidet, welche man bei den gewöhnlichen Spektralapparaten zu erreichen sucht: Achromasie, Homozentrizität, Abbildung durch weit geöffnete Büschel, paralleler Strahlengang im Prisma.

Auf beistehender Tafel sind in $2^1/_2$-facher Vergrösserung einige Spektren reproduzirt, die ich zur Prüfung eines Apparates der beschriebenen Konstruktion und zum Zweck der Aichung seiner Theilungen photographirte. Die Justirung des Apparates geschah, soweit möglich, nach den vortrefflichen Methoden des Hrn. Dr. J. Hartmann[1]). Als Lichtquelle diente der Funken aus der Sekundärwickelung eines kleinen Induktors, durch dessen Primärwickelung der Strom von 3 Chromsäureelementen floss. Der Induktor gab eine Funkenlänge von nur 2 *cm*. Die Enden der Sekundärwickelung wurden mit der äusseren bezw. inneren Belegung einer Kapazität von 300 *qcm* verbunden und der Flaschenfunke als Lichtquelle benutzt, der zwischen den dachförmig zugespitzten Elektroden übersprang, welche 0,5 bis 1,0 *mm* von einander entfernt standen, sodass ihre gemeinsame Schneidenrichtung in der optischen Achse lag. Durch diese Anordnung wird eine Richtungsänderung des Strahlenganges vermieden, weil der Uebergang des Funkens so immer nur längs der Schneiden erfolgen kann, sodass, besonders bei Benutzung enger Strahlenbüschel, die Schärfe der Spektrallinien gewahrt bleibt. Die Spektren sind theilweise durch enge Strahlenbüschel erzeugt worden, indem der Funke im Brennpunkt einer Linse vor dem Spalt stand, theilweise, zum Vergleich der Methoden, ohne diese Linse.

Die Aufnahme geschah im sichtbaren Spektralgebiet mit den Silbereosinplatten von Perutz; im ultravioletten Theil wandte ich mit Erfolg Talbot's R. T.-Platten an, die vollständig glasklar bleiben. Zu einer früheren Untersuchung[2]) benutzte ich die Berolinakupferdruckplatte von Gebhard, die auch V. Schumann empfiehlt.

Die Entwicklung wurde mit Glyzin vorgenommen, welches nach v. Hübl präparirt worden war. Dieser Entwickler eignet sich vorzüglich für Strich- und Punktzeichnungen (Spektral- und Sternaufnahmen).

Zu den einzelnen Figuren ist noch Folgendes zu bemerken.

Die Aufnahmen 1 und 2 sind mit den Glas-Objektiven ausgeführt worden, wobei die Silbereosinplatten von Perutz zur Verwendung kamen, die noch für Grün und Gelb empfindlich sind.

Aufnahme 1. *Funkenspektrum des Eisens*, erzeugt durch das *Flintprisma*. Darüber ist die Skale in 8-facher Vergrösserung photographirt, darunter die Lage einiger Linien im Sonnenspektrum markirt. Expositionszeit: 120 Sek.

Aufnahme 2. *Beugungsspektrum I. Ordnung von der Sonne und dem Kadmiumfunken*, erzeugt durch das *Thorp-Gitter*. Beide Spektren sind nach der Methode der Spaltbedeckung übereinander photographirt. Expositionszeit des Sonnenspektrums 4 Sek., des Kadmiumspektrums 120 Sek.

---

[1]) J. Hartmann, Ueber den Bau und die Justirung von Spektrographen. *Diese Zeitschr.* **20.** *S. 17 u. 47. 1900.*

[2]) H. Lehmann und R. Straubel, Ultraviolett des Quecksilberspektrums. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 909. 1902.*

Die Aufnahmen 3 bis 7 sind mit der oben beschriebenen Quarzoptik ausgeführt worden. Die Spektren 4 bis 7 haben gleiche Lage, welche an Aufnahme 5 in $\mu\mu$ angegeben ist. Die Aufnahmen 3 bis 5 sind mittels enger Büschel erzeugt worden, indem, wie *S. 265* beschrieben ist, der Funken im Brennpunkt einer unmittelbar vor dem Spalt stehenden kurzbrennweitigen Quarzlinse entstand. Der Vortheil dieser Methode tritt ganz besonders bei linienreichen Spektren hervor, wie z. B. bei Aufnahme 4, wo selbst noch auf der Vergrösserung Linien von weniger als 1 *Angström* Abstand getrennt gesehen werden konnten. Eine Aufnahme dieses linienreichen Spektrums ohne Linse vor dem Spalte zeigte fast alle Linien in einander verlaufen.

Man erzielt übrigens auch ohne Anwendung der Linse eine Abbildung durch schmale Büschel, wenn man den Funken sehr weit vom Spalte entfernt, aber dann hat man den grossen Nachtheil der geringen Intensität und vor Allem der Absorption der ultravioletten Strahlen durch die beträchtliche Luftschicht.

Die Aufnahmen 6 und 7 wurden mit weit geöffneten Strahlenbüscheln erzeugt, indem der Funken nahe vor dem Spalt entstand. Auch schon bei diesem linienarmen Spektrum macht sich eine Deformation der Linien störend bemerkbar.

Aufnahme 3. *Funkenspektrum des Aluminiums*, von der Wellenlänge etwa 260 bis 186[1]) $\mu\mu$. In Folge der verhältnissmässig schwachen Lichtquelle (vgl. *S. 267*) musste der Spalt weit geöffnet werden, um die letzten Linien zu erhalten. Die Expositionszeit betrug 5 Minuten.

Aufnahme 4. *Funkenspektrum des Eisens.* Die Einstellung geschah für das mittlere Spektralgebiet, doch sind auch die Enden noch recht gut definirt.

Aufnahme 5. *Funkenspektrum des Kadmiums.* Hier erscheinen die beiden Enden des Spektrums scharf, die Linien bei 480 und 214 $\mu\mu$. Letztere ist in der Originalaufnahme noch deutlich als umgekehrt zu erkennen, ebenso unter Anderem auch die stärkere Linie zwischen 227 und 231 $\mu\mu$, was in Aufnahme 7 deutlich hervortritt. Auch die Mitte des Spektrums zeigt noch eine leidliche Schärfe, sodass die feineren Linien noch gut messbar sind. Die von Natur stark verbreiterten Linien können natürlich niemals als Kriterium der Leistungsfähigkeit dienen. Die Expositionszeit betrug 20 Sekunden.

Die Aufnahmen 6 und 7 stellen das Kadmiumspektrum in einer solchen Einstellung dar, dass andere Spektralgebiete scharf erscheinen wie in Aufnahme 5.

Die Aufnahmen 6 und 7 zeigen die Durchlässigkeit zweier Glasarten unseres Glaswerkes. Ihre Auswahl ist eine zufällige, da die Kenntniss der Durchlässigkeit gerade dieser Gläser uns für einen anderen, nicht hierher gehörigen Zweck nöthig war.

Aufnahme 6. *Durchlässigkeit von Extra-Leicht-Flint der Schmelze Nr. 112*; $n_D = 1{,}55250$, $\nu = 47{,}1$. Die Strahlen der Wellenlänge von 313 $\mu\mu$ sind noch hindurchgegangen. Eine merkliche Absorption tritt aber schon bei 340 $\mu\mu$ ein.

Aufnahme 7. *Durchlässigkeit von Borosilikat-Crown der Schmelze Nr. 61*; $n_D = 1{,}50622$, $\nu = 61{,}9$. Durch dieses Glas dringen noch Strahlen bis zur Wellenlänge von 275 $\mu\mu$. Eine merkliche Absorption beginnt aber schon bei der Wellenlänge von etwa 315 $\mu\mu$.

Die untersuchten Gläser hatten die Dicke von 1 *mm*. Zum Vergleich wurde das vollständige Kadmiumspektrum darunter photographirt. Die Exposition betrug bei jeder dieser drei Aufnahmen 15 Sek.

---

[1]) Die Linie bei 185 $\mu\mu$ war wegen ungenügender Drehung der Kamera nicht mit auf die Platte gekommen.

1.

2.

3.

4.

5.

6.

7.

Lichtdruck A. Frisch. Berlin W.

Verlag von Julius Springer, Berlin.

Der beschriebene Apparat dürfte sich wegen seiner kompendiösen Bauart, seines geringen Gewichtes und der bequemen Justirung für Demonstrationszwecke sowie für wissenschaftliche Untersuchungen in physikalischen und chemischen Laboratorien und auch zum Gebrauch auf Forschungsreisen und Ballonfahrten eignen. Insbesondere wird er auch bei photochemischen Arbeiten zur Untersuchung von prismatischen wie Beugungs-Spektren (z. B. bei der Prüfung farbenempfindlicher Platten) gute Dienste leisten können.

Zusammenstellung und Vervollständigung der Rechnungsformeln für die Bestimmung der periodischen Fehler von Mikrometerschrauben.

Von

Hans Rosenberg in Berlin.

(Fortsetzung von S. 254.)

Vollständiges Beispiel zur Bestimmung der periodischen Schraubenfehler.

Beobachtete Werthe in Ganzen und Theilen einer Umdrehung U.

$n = 10.$

i	L_i	f_i
1	20,51	0,6771
2	63	693
3	73	763
4	81	604
5	93	703
6	21,00	857
7	11	789
8	23	833
9	32	892
10	42	869

Da sich schon aus dem Gange der beobachteten Zahlenwerthe ergiebt, dass die f_i um mehrere Zehner der 4. Dezimalstelle einer Umdrehung unsicher sein können, werden die beobachteten Werthe und die Koeffizienten lediglich in ganzen Einheiten der 4. Dezimale ausgedrückt und die Faktoren bis zur zweiten Dezimale der Einheit.

Man erkennt zugleich, dass die Quadrate und Produkte der in Einheiten der 4. Dezimale des Umfanges ausgedrückten Abweichungen der f_i von einem mittleren Werthe so erheblich sind, dass sie die Genauigkeitsgrenze von einer Einheit dieser Dezimale merklich übersteigen können, wie man aus folgendem Ueberschlag sieht:

$$f_m - f_i = l_i^0 = \alpha_1 \left\{\sin(L_i + f_i) - \sin L_i\right\} + \beta_1 \left\{\cos(L_i + f_i) - \cos L_i\right\} + \ldots$$

$$= \alpha_1 \left\{\sin(L_i + f_m - l_i^0) - \sin L_i\right\} + \beta_1 \left\{\cos(L_i + f_m - l_i^0) - \cos L_i\right\} + \ldots$$

oder, wenn die α, β, f und l_i in Einheiten der 4. Dezimale von U $(=0{,}036^0)$ ausgedrückt sind,

$$l_i^0 = \alpha_1 \left\{\sin(L_i + f_m) - \sin L_i\right\} - \alpha_1 l_i^0 \cos(L_i + f_m) \sin 0{,}036^0$$

$$+ \beta_1 \left\{\cos(L_i + f_m) - \cos L_i\right\} + \beta_1 l_i^0 \sin(L_i + f_m) \sin 0{,}036^0 + \ldots$$

oder nach der ersten Näherung

$$l_i^0 = x_1 \cos \lambda_i - \alpha_1 l_i^0 \cos (L_i + f_m) \sin 0{,}036^0 + y_1 \sin \lambda_i + \beta_1 l_i^0 \sin (L_i + f_m) \sin 0{,}036^0 + \dots$$

wo also die Korrektionsglieder von der Ordnung $\alpha_1 l_i^0 \sin 0{,}036^0$ und $\beta_1 l_i^0 \sin 0{,}036^0$ sind. Wenn beispielsweise die α und β nahezu 50 Einheiten der 4. Stelle betragen und die l_i^0 bis 180 solcher Einheiten gehen, würden diese Korrektionsglieder

$$9000 \cdot \sin 0{,}036^0 = 9000 \cdot 0{,}00063 = 6 \text{ Einheiten}$$

der 4. Dezimale betragen können.

Sodann sieht man, dass es bei den Beobachtungen nicht gelungen ist, die zyklische Anordnung hinreichend genau durchzuführen. Alles dies spricht dafür, dass eine zweite Näherung nothwendig ist, und dass dieselbe hier sofort durch den Uebergang von den x^0 und y^0 auf die α^0 und β^0 geschehen muss und durch die Berechnung der $d\alpha$ und $d\beta$.

Trotzdem ist zum Schluss auch der Versuch einer zweiten Näherung auf dem Wege der x und y durchgeführt, welcher vorzuziehen wäre, wenn die zyklische Anordnung unvollkommen ist, aber die α und β so klein wären, dass der Durchgang durch die α^0, β^0 ein unnöthiger Umweg wäre.

Erste Näherung[1]).

$$f_m = \frac{1}{n} \Sigma f_i = 0{,}6777 \qquad {}^1/_2 f_m = 0{,}33885 = 122^0.$$

$$\lambda_i = L_i + 122^0,$$

wo L_i in Graden auszudrücken ist, z. B. $L_i = 0{,}51 \times 360^0 = 183{,}6^0$.

i	$l_i^0 = f_m - f_i$	λ_i	$2\lambda_i$	$3\lambda_i$	$4\lambda_i$
1	+ 6	306°	252°	198°	144°
2	+ 84	349	338	327	316
3	+ 14	25	50	75	100
4	+ 173	54	108	162	216
5	+ 74	97	194	291	28
6	— 80	122	244	6	128
7	— 12	162	324	126	288
8	— 56	205	50	255	100
9	— 115	237	114	351	228
10	— 92	273	186	99	12
	— 4				

i	$\cos \lambda_i$	$\sin \lambda_i$	$\cos 2\lambda_i$	$\sin 2\lambda_i$	$\cos 3\lambda_i$	$\sin 3\lambda_i$	$\sin 4\lambda_i$
1	+ 0,59	— 0,81	— 0,31	— 0,95	— 0,95	— 0,31	+ 0,59
2	+ 98	— 19	+ 93	— 38	+ 84	— 55	— 70
3	+ 91	+ 42	+ 64	+ 77	+ 26	+ 97	+ 99
4	+ 59	+ 81	— 31	+ 95	— 95	+ 31	— 59
5	— 12	+ 99	— 97	— 24	+ 36	— 93	+ 47
6	— 53	+ 85	— 44	— 90	+ 1,00	+ 11	+ 79
7	— 95	+ 31	+ 81	— 59	— 0,59	+ 81	— 95
8	— 91	— 42	+ 64	+ 77	— 26	— 97	+ 99
9	— 55	— 84	— 41	+ 91	+ 99	— 16	— 74
10	+ 05	— 1,00	— 1,00	— 11	— 16	+ 99	+ 21
Σ	+ 0,06	+ 0,12	— 0,42	+ 0,23	+ 0,54	+ 0,27	+ 1,06

[1]) Formeln siehe *S. 246 bis 248.*

$C_1 = +0{,}01$ $S_1 = +0{,}01$ $C_2 = -0{,}04$ $S_2 = +0{,}02$ $C_3 = +0{,}05$ $S_3 = +0{,}03$ $S_4 = +0{,}11$.

i	$l_i^0 \cos\lambda_i$	$l_i^0 \sin\lambda_i$	$l_i^0 \cos 2\lambda_i$	$l_i^0 \sin 2\lambda_i$
1	+ 4	− 5	− 2	− 6
2	+ 83	− 16	+ 78	− 32
3	+ 13	+ 6	+ 9	+ 11
4	+ 102	+ 140	− 54	+ 165
5	− 9	+ 74	− 72	− 18
6	+ 42	− 68	+ 35	+ 72
7	+ 11	− 4	− 10	+ 7
8	+ 51	+ 24	− 36	− 43
9	+ 63	+ 97	+ 47	− 105
10	− 5	+ 92	+ 92	+ 10
	+ 354	+ 339	+ 87	+ 61

$$x_1^0 = +\frac{2}{n}\cdot 354 \qquad x_1^0 = +71 \qquad \alpha_1^0 = +\frac{71}{1{,}7} = +42$$

$$y_1^0 = +\frac{2}{n}\cdot 339 \qquad y_1^0 = +68 \qquad \beta_1^0 = -\frac{68}{1{,}7} = -40$$

$$x_2^0 = +\frac{2}{n}\cdot 87 \qquad x_2^0 = +17 \qquad \alpha_2^0 = -\frac{17}{1{,}8} = -9$$

$$y_2^0 = +\frac{2}{n}\cdot 61 \qquad y_2^0 = +12 \qquad \beta_2^0 = +\frac{12}{1{,}8} = +7$$

Einheiten der 4. Dezimale.

Bestimmung der wahrscheinlichen Fehler von x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0 aus erster Näherung[1]).

i	$x_1^0 \cos\lambda_i$	$y_1^0 \sin\lambda_i$	$x_2^0 \cos 2\lambda_i$	$y_2^0 \sin 2\lambda_i$	$(l_i)^0$	l_i^0	V_i^0	$V_i^0 V_i^0$
1	+ 42	− 55	− 5	− 12	− 30	+ 6	+ 36	1296
2	+ 70	− 13	+ 16	− 5	+ 68	+ 84	+ 16	256
3	+ 64	+ 29	+ 11	+ 9	+ 113	+ 14	− 99	9801
4	+ 42	+ 55	− 5	+ 12	+ 104	+ 173	+ 69	4761
5	− 9	+ 67	− 17	− 3	+ 38	+ 74	+ 36	1296
6	− 38	+ 58	− 8	− 11	+ 1	− 80	− 81	6561
7	− 67	+ 21	+ 14	− 7	− 39	− 12	+ 27	729
8	− 64	− 29	+ 11	+ 9	− 73	− 56	+ 17	289
9	− 39	− 57	− 7	+ 11	− 92	− 115	− 23	529
10	+ 4	− 68	− 17	− 1	− 82	− 92	− 10	100

$$\Sigma V_i^0 V_i^0 = 25618$$

$$n = 10 \qquad m = 2 \qquad 2m+1 = 5$$

$$\varepsilon_f = 0{,}674\sqrt{\frac{25\,618}{5}} = \pm 48$$

$$\varepsilon_{x_1^0} = \pm 48\sqrt{\frac{18}{100}} = +20.$$

Ebenso ergiebt sich auch für $\varepsilon_{y_1^0}$, $\varepsilon_{x_2^0}$, $\varepsilon_{y_2^0}$ der Werth 20. Man sieht hieraus, dass bei unserer Mikrometerschraube x_2^0 und y_2^0 keine Realität haben, da ihre wahrscheinlichen Fehler grösser sind, als die für sie berechneten Werthe.

Wir können bei Bildung der zweiten Näherung also den zweiten Epizykel ausschalten und haben nur den ersten zu berücksichtigen.

[1]) Formeln siehe *S. 251 bis 253.*

Zweite Näherung.

a) Bildung der $d\alpha_1$ und $d\beta_1$ [1]).

i	$L_i + f_i$	L_i	$\sin(L_i + f_i)$	$\sin L_i$	A'_i	$A'_i A'_i$
1	67°	184°	+ 0,92	− 0,07	+ 0,99	0,98
2	108	227	+ 95	− 73	+ 1,68	2,83
3	146	263	+ 56	− 99	+ 1,55	2,41
4	169	292	+ 19	− 93	+ 1,12	1,25
5	216	335	− 59	− 42	− 0,17	0,03
6	247	0	− 92	+ 00	− 0,92	0,85
7	284	40	− 97	+ 64	− 1,61	2,60
8	329	83	− 52	+ 99	− 1,51	2,27
9	3	115	− 5	+ 91	− 0,85	0,73
10	39	151	+ 63	+ 49	− 0,14	0,02
					+ 0,43	13,97

i	$\cos(L_i + f_i)$	$\cos L_i$	B'_i	$B'_i B'_i$	$A'_i B'_i$
1	+ 0,39	− 1,00	+ 1,39	1,93	+ 1,38
2	− 31	− 0,68	+ 0,37	0,14	+ 0,62
3	− 83	− 12	− 0,71	0,50	− 1,10
4	− 98	+ 38	− 1,36	1,84	− 1,52
5	− 81	+ 91	− 1,72	2,94	+ 0,29
6	− 39	+ 1,00	− 1,39	1,94	+ 1,28
7	+ 24	+ 0,77	− 0,53	0,28	+ 0,85
8	+ 86	+ 12	+ 0,74	0,54	− 1,12
9	+ 1,00	− 42	+ 1,42	2,02	− 1,21
10	+ 0,78	− 88	+ 1,66	2,76	+ 0,23
			− 0,12	14,86	− 0,30

$$x_1{}^0 C_1 = + 0{,}7$$
$$y_1{}^0 S_1 = + 0{,}7$$
$$f_0{}^0 - f_m = + 1{,}4$$

i	$\alpha_1{}^0 A'_i$	$\beta_1{}^0 B'_i$	(l_i^0)	$l_i^0 + f_0{}^0 - f_m = l_i$	(dl_i)	$(dl_i) A'_i$	$(dl_i) B'_i$
1	+ 42	− 56	− 14	+ 7	+ 21	+ 21	+ 29
2	+ 71	− 15	+ 56	+ 85	+ 29	+ 49	+ 11
3	+ 65	+ 28	+ 93	+ 15	− 78	− 121	+ 55
4	+ 47	+ 54	+ 101	+ 174	+ 73	+ 82	− 99
5	− 7	+ 69	+ 62	+ 75	+ 13	− 2	− 22
6	− 39	+ 56	+ 17	− 79	− 96	+ 88	+ 133
7	− 68	+ 21	− 47	− 11	+ 36	− 58	− 19
8	− 63	− 30	− 93	− 55	+ 38	− 57	+ 28
9	− 36	− 57	− 93	− 114	− 21	+ 18	− 30
10	+ 6	− 66	− 60	− 91	− 31	− 4	− 51
						+ 16	+ 35

$$(d\alpha_1) = + \frac{16}{13{,}97} = + 1{,}2$$

$$(d\beta_1) = + \frac{35}{14{,}86} = + 2{,}3\,.$$

[1]) Formeln siehe *S. 249 bis 250.*

Dann sind

$$d\alpha_1 = +1,2 + \frac{2,3 \cdot 0,30}{13,97} = +1,2$$

und

$$d\beta_1 = +2,3 + \frac{1,2 \cdot 0,30}{14,86} = +2,3\,.$$

Die genäherten $(d\alpha_1)$ und $(d\beta_1)$ sind in unserem Falle also gleich den strengeren $d\alpha_1$ und $d\beta_1$. Mit diesen bestimmen wir jetzt α_1 und β_1.

$$\alpha_1 = +42 + 1,2 = +43$$
$$\beta_1 = -40 + 2,3 = -38\,.$$

Mit diesen Werthen wird weiter unten die Korrektionstafel gerechnet werden.

b) Bildung von dx_1 und dy_1 [1]).

i	l_i	$x_1^0 \cos\lambda_i$	$y_1^0 \sin\lambda_i$	$(l_i)^0$	dl_i	$dl_i \cos\lambda_i$	$dl_i \sin\lambda_i$
1	+ 7	+ 42	− 55	− 13	+ 20	+ 12	− 16
2	+ 85	+ 70	− 13	+ 57	+ 28	+ 27	− 5
3	+ 15	+ 64	+ 29	+ 93	− 78	− 71	− 33
4	+ 174	+ 42	+ 55	+ 97	+ 77	+ 45	+ 62
5	+ 75	− 9	+ 67	+ 58	+ 17	− 2	+ 17
6	− 79	− 38	+ 58	+ 20	− 99	+ 53	− 84
7	− 11	− 67	+ 21	− 46	+ 35	− 33	+ 11
8	− 55	− 64	− 29	− 93	+ 38	− 35	− 16
9	− 114	− 39	− 57	− 96	− 18	+ 10	+ 15
10	− 91	+ 4	− 68	− 64	− 27	− 1	+ 27
						+ 5	− 22

i	$\cos^2\lambda_i$	$\sin^2\lambda_i$
1	0,35	0,65
2	96	4
3	82	18
4	35	65
5	2	99
6	28	72
7	90	10
8	82	18
9	30	70
10	0	1,00
	4,80	5,21

$$\frac{n}{2}(1+q_1) = +4,8 \qquad q_1 = -0,04$$
$$\frac{n}{2}(1-q_1) = +5,2$$
$$\frac{2}{n}(1-q_1) = +0,21$$
$$\frac{2}{n}(1+q_1) = +0,19$$

$$(dx_1) = +0,21 \cdot 5 = +1,1 \qquad (dy_1) = -0,19 \cdot 22 = -4,2$$
$$dx_1 = +1,1 + 1,04 \cdot 4,2 \cdot 0,02 = +1,2 \qquad dy_1 = -4,2 - 0,96 \cdot 1,1 \cdot 0,02 = -4,2\,.$$

Bringen wir diese Korrektionen an x_1^0 und y_1^0 an, so finden wir für x_1 und y_1

$$x_1 = +72 \qquad y_1 = +64\,.$$

Aus diesen Werthen berechnen wir α_1 und β_1

$$\alpha_1 = +\frac{72}{1,7} = +42,4 \qquad \beta_1 = -\frac{64}{1,7} = -37,7\,.$$

In unserem Falle haben aus den oben (*S. 270*) besprochenen Gründen die durch die $d\alpha$ und $d\beta$ abgeleiteten Werthe für α_1 und β_1 mehr Anspruch auf Genauigkeit. Mit ihnen sollen also die wahrscheinlichen Fehler bestimmt und die Korrektionstafel gerechnet werden.

[1]) Formeln siehe *S. 250 bis 251.*

Bestimmung der wahrscheinlichen Fehler[1].

Wir bestimmen $[V_i V_i]$ aus der Gleichung

$$V_i = (dl_i) - [d\alpha_1 A'_i + d\beta_1 B'_i]$$

ein Mal durch Einsetzung der Werthe in die Gleichung und rechnerische Quadrirung der V_i, das andere Mal durch Quadrirung der Formel.

i	(dl_i)	$d\alpha_1 A'_i$	$d\beta_1 B'_i$	$(d\alpha_1 A'_i + d\beta_1 B'_i)$	V_i	$V_i V_i$
1	+ 21	+ 1	+ 3	+ 4	+ 25	625
2	+ 29	+ 2	+ 1	+ 3	+ 32	1 024
3	− 78	+ 2	− 1	+ 1	− 77	5 929
4	+ 73	+ 1	− 3	− 2	+ 71	5 041
5	+ 13	− 0	− 3	− 3	+ 10	100
6	− 96	− 1	− 3	− 4	− 100	10 000
7	+ 36	− 2	− 1	− 3	+ 33	1 089
8	+ 38	− 2	+ 1	− 1	+ 37	1 369
9	− 21	− 1	+ 3	+ 2	− 19	361
10	− 31	+ 0	+ 3	+ 3	− 28	784
					$[V_i V_i]$ =	26 322

und nach der andern Formel

$$[V_i V_i] = \Sigma (dl_i)(dl_i) + d\alpha_1^2 \Sigma A'^2_i + d\beta_1^2 \Sigma B'^2_i - 2\, d\alpha_1 \Sigma (dl_i) A'_i$$
$$- 2\, d\beta_1 \Sigma (dl_i) B'_i + 2\, d\alpha_1 d\beta_1 \Sigma A'_i B'_i$$
$$[V_i V_i] = 26\,222 + 21 + 79 - 38 - 161 - 2 = 26\,121.$$

Die Uebereinstimmung der beiden Werthe für $[V_i V_i]$ ist vollkommen ausreichend, denn wir finden für den wahrscheinlichen Fehler der f_i das eine Mal

$$\varepsilon_f = 0{,}674 \sqrt{\frac{26\,322}{5}} = 48{,}9,$$

das andere Mal

$$\varepsilon_f = 0{,}674 \sqrt{\frac{26\,121}{5}} = 48{,}8.$$

Für die wahrscheinlichen Fehler von x_1 und y_1 ergiebt sich dann

$$\varepsilon_{x_1} = 49 \sqrt{\frac{18}{96}} = 21 \qquad \varepsilon_{y_1} = 49 \sqrt{\frac{18}{104}} = 20.$$

Ferner ist

$$\varepsilon_{\alpha_1} = \varepsilon_{\beta_1} = 4{,}9 \sqrt{\frac{9}{2}} \sqrt{\frac{1}{0{,}72}} = 12.$$

Für den wahrscheinlichen Fehler von φ (L) finden wir

$$\varepsilon_\varphi = 4{,}9 \sqrt{\frac{9}{2}} \sqrt{\frac{1}{0{,}72}} = 12.$$

Für die Korrektion der Ablesungen φ (L) haben wir also schliesslich die Gleichung

$$\varphi (L) = + 43 \sin L - 38 \cos L$$

mit dem wahrscheinlichen Fehler ± 12. Es wäre demnach in unserem Falle überhaupt nicht nöthig gewesen, die zweite Näherung zu bilden, da die wahrscheinlichen Fehler erheblich grösser sind, als die gefundenen Korrektionen. Doch hat dies hier geschehen müssen, um den Gang der Rechnung zu zeigen.

[1]) Formeln siehe *S. 251 bis 253.*

Berechnung der Tafel.

Um die Korrektionstafel für die periodischen Fehler unserer Schraube zu berechnen, wollen wir die für $\varphi(L)$ gefundene Gleichung noch etwas umformen. Wir setzen $\alpha_1 = C \cos F$ und $\beta_1 = C \sin F$. Die Gleichung geht dadurch in die Form über

$$\varphi(L) = C \sin(L + F).$$

Wir berechnen jetzt C und F. Es ist

$$\operatorname{tg} F = \frac{\beta_1}{\alpha_1} = -\frac{38}{43},$$

also $F = -41^0$. Dann ist

$$C = \frac{43}{\cos 41^0} = \frac{38}{\sin 41^0} = 57.$$

Die Tafel wird jetzt berechnet nach der Gleichung

$$\varphi(L) = \left\{0{,}0057 \cdot \sin(L - 41^0)\right\}.$$

Korrektionstafel von 5 zu 5 Trommeltheilen.

5 = 18°	− 0,0022	55 = 198°	+ 0,0022
10 = 36°	− 5	60 = 216°	+ 5
15 = 54°	+ 13	65 = 234°	− 13
20 = 72°	+ 29	70 = 252°	− 29
25 = 90°	+ 43	75 = 270°	− 43
30 = 108°	+ 53	80 = 288°	− 53
35 = 126°	+ 57	85 = 306°	− 57
40 = 144°	+ 56	90 = 324°	− 56
45 = 162°	+ 49	95 = 342°	− 49
50 = 180°	+ 37	100 = 360°	− 37

Ueber eine von E. Abbe vorgeschlagene Anordnung des Fresnel'schen Doppelprismas und über die objektive Darstellung von Interferenzstreifen.

Von
A. Winkelmann in Jena.

1. Wenn man Interferenzstreifen vor einem grösseren Auditorium demonstriren will, ist es nothwendig, dass die Streifen genügend breit und hell sind. Die Einstellung geschieht am bequemsten mit einem Fresnel'schen Doppelprisma. Das Prisma hat dabei die Bedingung zu erfüllen, dass der Winkel an der stumpfen Kante nur wenig von 180° abweicht und dass die Flächen, die an dieser Kante zusammenstossen, möglichst eben sind, sodass die Kante eine genaue gerade Linie bildet. Dies ist aber nicht leicht zu erreichen; W. Feussner[1]) bemerkt darüber: „Gute Interferenzprismen findet man nicht häufig, da es schwer hält, die Flächen in der Nähe der stumpfen Kante genau eben zu schleifen, und durch jede Krümmung an dieser Stelle die Erscheinungen erheblich beeinflusst werden".

Hr. E. Abbe machte mich nun darauf aufmerksam, dass man die genannte Schwierigkeit umgehen könne, wenn das Prisma mit der stumpfen Kante nicht an Luft, sondern an einer passenden Flüssigkeit grenze und dass es durch die Wahl der Flüssigkeit und des Glases möglich sei, farblose oder fast farblose Interferenz-

[1]) W. Feussner in Winkelmann's Handbuch der Physik. 1894. Optik. *S. 535.*

streifen zu erzeugen. Lässt man den stumpfen Winkel an einer Flüssigkeit grenzen, so darf der Winkel um mehrere Grade von 180° abweichen und es hat dann keine Schwierigkeit, die Flächen eben und die Kante gerade zu erhalten.

Fig. 1.

2. Ist der Abstand (Fig. 1) des Prismas von dem Spalt S gleich a, von dem Schirm AA gleich b, ist ferner O die helle Mitte der Interferenzstreifen, x der Abstand des Punktes P auf dem Schirm von der hellen Mitte, n der Brechungsexponent des Glases, ε der spitze Winkel in dem Prisma, so ist der Gangunterschied δ für die Punkte O und P in genügender Annäherung[1])

$$\delta = 2(n-1)\frac{a}{a+b}\varepsilon x.$$

Ist P die helle Mitte des ersten Nebenstreifens für das Licht von der Wellenlänge λ, so ist $\delta = \lambda$, und man erhält

$$\frac{\lambda}{(n-1)} = 2\varepsilon\frac{a}{a+b}x,$$

wo x die Streifenbreite bedeutet.

3. Ersetzt man das obige Prisma, welches an Luft grenzt, durch ein solches, das an einer Flüssigkeit grenzt, sodass die Begrenzungsflächen der Kombination parallel werden, so wirkt die Kombination als ein Prisma mit kleinerem Brechungsexponenten.

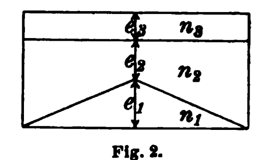


Fig. 2.

Hat das Prisma (Fig. 2) den Brechungsexponenten n_1 und die grösste Dicke e_1, die Flüssigkeit den Brechungsexponenten n_2 und die kleinste Dicke e_2, die ebene Glasplatte den Brechungsexponenten n_3 und die Dicke e_3, und behalten die obigen Bezeichnungen ihre Bedeutung bei, so erhält man

$$\delta = 2(n_1 - n_2)\frac{a}{a+b}\varepsilon x\left\{1 - \frac{b}{a(a+b)}\left(\frac{e_1}{n_1} + \frac{e_2}{n_2} + \frac{e_3}{n_3}\right)\right\}.$$

Setzt man

$$\frac{e_1}{n_1} + \frac{e_2}{n_2} + \frac{e_3}{n_3} = A$$

und

$$\delta = \lambda,$$

so wird die Streifenbreite x

$$x = \frac{\lambda(a+b)}{2\varepsilon(n_1 - n_2)a\left\{1 - \frac{b}{a(a+b)}A\right\}}.$$

Sollen die Streifen farblos werden, so muss die Streifenbreite x von λ, n_1, n_2, n_3 unabhängig sein. Diese Bedingung liefert

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2} - \frac{dA}{\frac{a(a+b)}{b} + A} \quad \ldots\ldots\ 1)$$

Wir setzen

$$d\lambda = \lambda - \lambda'$$
$$dn_1 = n_1 - n_1'$$
$$dn_2 = n_2 - n_2'$$

und beziehen diese Grössen zunächst auf die Linien C und F des Sonnenspektrums.

[1]) W. Feussner, a. a. O. S. 534.

4. Als Flüssigkeit wurde Benzol gewählt und ein solches Glas ausgesucht, dass die Streifenbreite für C und F nahezu gleich wird.

Man hat

$$\lambda_C = \lambda = 656{,}3 \cdot 10^{-6}\ mm$$
$$\lambda_F = \lambda' = 486{,}2\ \text{„}\quad\text{„}.$$

Dies liefert

$$\frac{\lambda - \lambda'}{\lambda} = 0{,}259.$$

Für Benzol hat man bei 18°

$$n_C = n_2 = 1{,}49774$$
$$n_F = n_2' = 1{,}51447,$$

für Glas O. 269

$$n_C = n_1 = 1{,}52837$$
$$n_F = n_1' = 1{,}53753.$$

Hiermit wird

$$\frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2} = 0{,}247.$$

Das zweite Glied der Gleichung 1) hat den Charakter einer Korrektion, die sehr geringfügig ist. Bei der benutzten Kombination war

$$e_1 = 4\ mm$$
$$e_2 = 9\ \text{„}$$
$$e_3 = 4\ \text{„}\ ;$$

setzt man ferner

$$a = 180\ mm$$
$$b = 8000\ \text{„}$$
$$n_3 = n_1,$$

so wird

$$\frac{dA}{a\left(\frac{a+b}{b}\right) + A} = 0{,}00052.$$

Dieser Werth kann unberücksichtigt bleiben. Man hat dann für die Linien C und F

$$\frac{d\lambda}{\lambda} - \frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2} = 0{,}012.$$

5. Macht man die entsprechende Rechnung für die Linien D und F, wo

$$\lambda_D = 589{,}3 \cdot 10^{-6}\ mm$$
$$\text{Benzol}\ n_D = 1{,}50240$$
$$\text{Glas}\ n_D = 1{,}53109$$

ist, so erhält man

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = 0{,}175$$
$$\frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2} = 0{,}196$$

und daher

$$\frac{d\lambda}{\lambda} - \frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2} = -0{,}021.$$

Die Differenz

$$\left(\frac{d\lambda}{\lambda} - \frac{dn_1 - dn_2}{n_1 - n_2}\right)$$

ist, wie aus den obigen Werthen hervorgeht, für die Kombination der Linien C und F positiv, für D und F negativ. Nur, wenn diese Differenz in jedem Falle Null ist, werden die Interferenzstreifen ganz farblos. Der verschiedene Gang der Dispersion

für Benzol und Glas verhindert dies; auch die Kombination anderer Flüssigkeiten mit anderen Gläsern zeigte das gleiche Resultat.

6. Berechnet man die Streifenbreite für das vorliegende Prisma, ohne Rücksicht auf die kleine Korrektion (indem man $A = 0$ setzt), so wird dieselbe

$$x = \frac{\lambda}{(n_1 - n_2)} \cdot \frac{a + b}{2 \varepsilon \cdot a}.$$

Bei dem benutzten Prisma war $\varepsilon = 4^0\ 30'$ und die Aufstellung so, dass $a = 180$ *mm*, $b = 8000$ *mm* war. Dann erhält man für die Streifenbreite x für die Linie

	C	D	F
$x =$	12,4 *mm*	11,9 *mm*	12,2 *mm*.

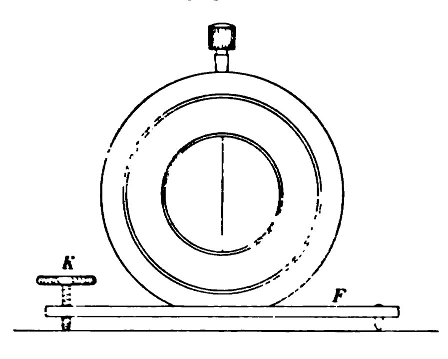
Der grösste Unterschied ist 0,5 *mm* oder 4 %, der durch den verschiedenen Dispersionsgang im Glase und in der Flüssigkeit bedingt ist.

Zur Vergleichung wurde noch die Streifenbreite berechnet, die entsteht, wenn dasselbe Prisma an Luft grenzt. Dabei ist der Abstand b so gross angenommen, dass man für die Linie C die gleiche Streifenbreite wie oben erhält. Man findet so die Streifenbreite für die Linie

	C	D	F
$x =$	12,4 *mm*	11,0 *mm*	8,9 *mm*.

Die grösste Differenz ist hier 3,5 *mm*, also 7-mal so gross, wie in unserer Kombination mit Benzol.

7. Das Genauere der Prismenkombination sieht man aus der Fig. 3[1]). Das Glasprisma hat einen abgeschliffenen Rand und wird mit diesem durch eine Ueberwurfsschraube gegen die Fassung gedrückt. Gegenüber der stumpfen Kante des Prismas wird eine ebene Glasplatte in der gleichen Weise befestigt. Um den innern Raum sicher abzudichten, befindet sich je ein Gummiring in den Fassungen. Der Hohlraum wird durch eine oben gelegene Oeffnung, die durch einen Stopfen verschliessbar ist, mit Flüssigkeit angefüllt. Die ganze Kombination ist auf einer kleinen Metallscheibe FF befestigt, die auf drei Spitzen ruht; die eine Spitze wird von einer Schraube K gebildet, durch die der Prismenkante eine Neigungsänderung gegeben werden kann.



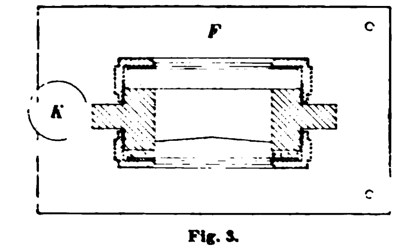


Fig. 3.

8. Für die objektive Darstellung war folgende Anordnung getroffen, die durch Fig. 4 im horizontalen Schnitt dargestellt ist.



Fig. 4.

Vor dem Spalt S, der durch elektrisches Licht beleuchtet wird, stand das Prisma in einem Abstand von 18 *cm*; durch die Schraube K (Fig. 3) wird die Prismenkante genau parallel dem Spalt gestellt. Die Interferenzstreifen werden auf einem Spiegel BB, der 800 *cm* vom Prisma entfernt ist, aufgefangen und auf einen matten

[1]) Ich verdanke diese Zeichnungen der Firma Carl Zeiss in Jena.

Glasschirm AA geworfen. Hier erscheinen sie dann im durchgehenden Licht sehr hell; der Abstand zweier benachbarter Streifen ist etwa 1 *cm*; das erste dunkle Streifenpaar ist fast schwarz, die folgenden zeigen Färbung. Die Streifen sind in einem Winkelraum von etwa 30° und in einem Abstande von 8 *m* gut zu sehen. Durch Drehung des Spiegels BB um eine vertikale Achse lassen sich die Streifen allen Zuhörern, ohne dass dieselben ihren Platz zu verlassen brauchen, deutlich zeigen.

Um noch breitere Streifen als 1 *cm* hervorzurufen, stellt man zwischen dem Prisma und dem Spiegel BB in der Nähe des letzteren eine passende Zerstreuungslinse auf. Dies ist auch zweckmässig, wenn man nicht so grosse Dimensionen, wie oben angegeben, zur Verfügung hat.

Jena, im Juni 1902.

Referate.

Ueber die Genauigkeit der Distanzmessung mit Hülfe der Tangentenschraube.

Von M. Kunze. *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 349. 1901.*

Da, im Gegensatz zu den für Amerika u. s. f. bestimmten Instrumenten, in Deutschland die Tangentenschraube nur selten zur Distanzmessung benutzt werde und deshalb die Untersuchungen über die dabei zu erlangende Genauigkeit wenig zahlreich und widersprechend seien, hat der Verf. neue eigne Versuche angestellt, für die alle Zahlen ausführlich mitgetheilt werden. Der Ref. gestattet sich die Bemerkung, dass nicht die geringere Genauigkeit, sondern die viel langsamere Arbeit alle Schraubentachymeter in Deutschland gegen den gewöhnlichen Fadendistanzmesser in den Hintergrund gedrängt hat; wo man in Deutschland „Tachymeterarbeit" zu machen hat, spielt eben vielfach nicht die erreichbare Genauigkeit, sondern die erreichbare Schnelligkeit der Arbeit die Hauptrolle.

An den Seiten mehrerer Polygone im Tharandter Staatsforstrevier, die mit einem Stahlband doppelt gemessen waren mit dem unregelmässigen m. F. einer Doppelmessung

$$m = \pm 0{,}0029 \sqrt{s}$$

(s in Meter), sind die Versuche mit Benutzung eines Hildebrand'schen Theodolits gemacht (Fernrohr 25 *cm* Brennweite, 22-fache Vergrösserung); die Spitze der Tangentenschraube ruhte auf einem Achatplättchen, die Trommel war in 50×5 Theile zerlegt, deren Viertel geschätzt wurden, sodass auf 0,0005 einer „Theilungseinheit" abgelesen wurde. Der Winkelwerth für $^1/_{1000}$ einer Umdrehung ergab sich zu $2{,}058'' \pm 0{,}0013''$, einer „Konstanten" des Instruments von $100{,}276 \pm 0{,}028$ entsprechend. Als Signale dienten je 4 weiss-schwarz gefelderte Blechscheiben, in Abständen von je 1 *m* an zwei über 4 *m* langen durch Stative gehaltenen Stäben befestigt, die unterste Scheibe 0,35 *m* über dem Boden. Die Versuchsmessungen wurden im Ganzen „bei recht ungünstigen" Verhältnissen (blendender Sonnenschein u. s. f.) gemacht. Sie ergaben zunächst, dass, wenn u die Schraubenablesung bei Einstellung der untern, o die bei der obern Tafel, also $(o - u)$ die maassgebende Differenz vorstellt, die Entfernung Instrument—Stab bis zu 450 *m*, ja sogar, bei günstigen Verhältnissen, bis zu höheren Grenzen keinen Einfluss auf die Genauigkeit in $(o - u)$ ausübt; dagegen ist ein solcher Einfluss der Entfernung der obern und untern Scheibe von einander in der Art nachweisbar, dass die Genauigkeit von $(o - u)$ mit wachsendem Scheibenabstand etwas abnimmt (Hauptursache jedenfalls die Veränderung des Luftzustands während des längern Schraubens). Uebrigens findet der Verf. aus

$$E = \frac{C\,l}{o - u},$$

wo E die gesuchte Entfernung, l der Abstand der zwei Zieltafeln ist, nach seinen Versuchen für einen Satz von vier Beobachtungen nach einander, mit $l = 1$, 2 und 3 *m* (und $C = 100$), die prozentischen Fehler, d. h. die Beträge $100 \cdot \frac{dE}{E}$ gleich

$\pm 0{,}00090\,E$, $\pm 0{,}00053\,E$ und $\pm 0{,}00040\,E$,

sodass im Ganzen die grössere Entfernung der zwei Zielzeichen von einander selbstverständlich der Genauigkeit der Entfernungsmessung günstig ist.

Die Hauptergebnisse aller Versuche sind:

1. Die unterste Signalscheibe ist möglichst entfernt vom Boden anzubringen, jedenfalls nicht unter 0,5 *m*, besser nicht unter 1 *m*, wegen der wechselnden Refraktion (Bemerkung des Ref.: Wären, um den Einfluss der Differentialrefraktion noch schärfer zu zeigen, nicht auch Versuche mit *horizontal* liegender Lattenbasis, in verschiedener Höhe über dem Boden, und horizontal wirkender Schraube statt der Tangentenkippschraube zum Vergleich nützlich?).

2. Entfernung der zwei Signalscheiben von einander nicht kleiner als 2 *m*.

3. Die nach Beachtung von 1. und 2. mit dem Versuchsinstrument zu erhaltenden Resultate der Längenmessung kommen den unmittelbar mit dem Stahlband sich ergebenden nahezu gleich, „selbst wenn man nur eine viermalige Wiederholung der Schraubeneinstellung voraussetzt".

4. Die Tangentenschraube ist als sehr empfehlenswerthes Hülfsmittel zur Ausführung von Längenmessungen zu bezeichnen, wo es auf grosse Genauigkeit nicht ankommt (offene Polygonzüge bei Vorarbeiten, lange Polygonzüge zwischen weit von einander entfernten trigonometrischen Punkten, z. B. bei Kolonialvermessungen u. dgl.).

Man kann diesen Sätzen zustimmen. Leider wird über die zu den Messungen erforderliche *Zeit* gar nichts mitgetheilt, was sie in dieser Beziehung mit andern Methoden vergleichbar machen würde. Erinnert sei bei dieser Gelegenheit auch nochmals daran, dass für indirekte Seitenmessung auch horizontale Basis zusammen mit Repetitionsmessung des horizontalen Mikrometerwinkels gute Resultate giebt (vgl. z. B. das Referat von Hammer in *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 264 u. 265. 1901*). *Hammer.*

Ergebnisse einer Zuverlässigkeitsuntersuchung mit der Rechenmaschine Brunsviga.

Von H. Sossna. *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 636. 1901.*

Der Aufsatz giebt eine nähere Begründung des ungünstigen Urtheils, das der Verf. schon früher (besonders *a. a. O.* ***28.*** *S. 665. 1899*) über die unter dem Namen „Brunsviga" weit verbreitete (von Grimme, Natalis & Co. in Braunschweig hergestellte) Rechenmaschine abgegeben hat. Dass die Erfindung von Prof. Odhner in der mechanischen Ausführung nicht einwandfrei ist, ist zweifellos; der Verf. beanstandet besonders die Zehnerübertragung, die bei dem Fehlen einer Warnung zu Rechenfehlern Veranlassung geben kann. Von den neuerdings an der Maschine angebrachten Verbesserungen lässt der Verf. nur die Riegeleinrichtung gelten, die die Kurbeldrehung unmöglich macht, wenn die zwei Haupttheile der Maschine sich nicht in einer der normalen Stellungen befinden und wenn die Zahnstellung der Ziffernrolle nicht die normale ist, und die ferner die Bewegung des Schieberkastens bei nicht in der Ruhelage befindlicher Kurbel verhindert. Die zweite wesentliche Veränderung, durch die der Auslöscher der Zahlen nicht mehr bei beliebiger, vielmehr nur noch bei einer einzigen Stellung des Schieberkastens wirksam ist, stellt dagegen keine angenehme Neuerung vor.

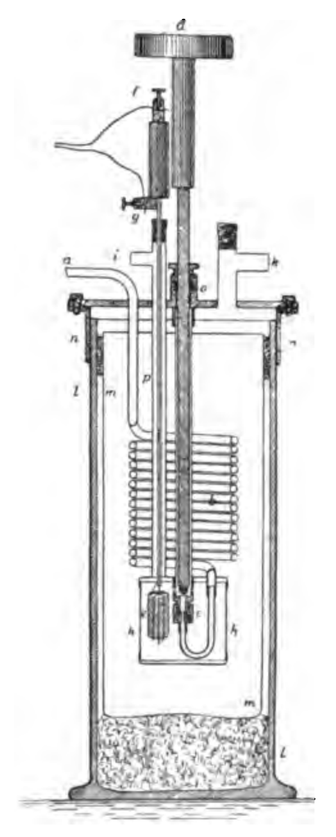
Dem Ref. hat die (*kleine*) Brunsviga der geodätischen Sammlung der Technischen Hochschule in Stuttgart noch keinen Anlass zur Klage über nicht richtige Rechnung (unrichtige Zehnerübertragung) gegeben; wenig bequem ist aber der Gebrauch wegen des grossen Geräusches und harten Gangs. Bemerkt sei übrigens noch, wie auch der Verf. anführt, dass Prof. Mehmke (*Enzyklopädie d. math. Wiss. 1. Bd. Heft 6. S. 969. 1901*) ebenfalls die Brunsviga erklärt als „nicht zuverlässig, weil die Bewegungen nicht hinreichend gesichert und die Zehnerübertragungen nicht weit genug geführt sind", und auch noch als mit andern Mängeln behaftet bezeichnet. *Hammer.*

Bestimmung der Umkehrtemperatur des Joule-Thomson-Effekts beim Wasserstoff.

Von K. Olszewski, *Krak. Anz. 1901. S. 453; Phil. Mag.* **3.** *S. 535. 1902; Nature* **65.** *S. 516. 1902.*

Die Möglichkeit, Wasserstoff zu verflüssigen, beruht bekanntlich auf dem Umstande, dass, während das Gas in gewöhnlichen Temperaturen bei freier Expansion sich erwärmt, es in Temperaturen unterhalb einer gewissen Grenze, wie die Luft und die andern unvollkommenen Gase, eine Abkühlung erleidet[1]). Zur Verflüssigung des Wasserstoffs ist es daher nothwendig, das komprimirte Gas vor der Expansion hinreichend abzukühlen, was in den Apparaten von Dewar und von Travers durch flüssige Luft geschieht. Die Frage, ob es nöthig sei, den Wasserstoff einer so starken Temperaturerniedrigung zu unterwerfen, war bisher experimentell noch nicht untersucht worden; auf theoretischen Wegen hatte Witkowski die beiden abweichenden Werthe —46° und —79,3° als Grenze abgeleitet, bei der der Joule-Thomson-Effekt des Wasserstoffs einen Zeichenwechsel erleidet.

In der vorliegenden Arbeit wird nun die erste experimentelle Bestimmung der genannten Umkehrtemperatur mitgetheilt. Der Wasserstoff wurde aus käuflichem Zink und verdünnter Schwefelsäure bereitet und nach hinreichender Trocknung in einer stählernen Flasche auf etwa 180 Atmosphären komprimirt. Von dort aus gelangte er in das kupferne Rohr *a* des Expansionsapparates (vgl. die Figur).



Das Rohr *a* geht in diesem in das Schlangenrohr *b* über, welches bei *c* in einem durch das Handrad *d* zu bethätigenden, bei *o* abgedichteten Expansionsventil endigt. Der bis auf atmosphärischen Druck entspannte Wasserstoff gelangt in die mit Sämischleder ausgefütterte Blechbüchse *hh* und durch das Rohr *p i* nach aussen. Dieses enthält zugleich die Zuleitungen zum Widerstandsthermometer *e*, welche oben in den beiden Klemmschrauben *f* und *g* endigen. Der ganze Apparat kann mit Hülfe eines metallenen Deckels in das das Kühlungsmittel enthaltende Becherglas *mm* eingesetzt werden, welches sich, gegen Wärmeabgabe geschützt, in dem dickwandigen Glaszylinder *ll* befindet. Das im Deckel angebrachte Rohr *k* dient dazu, die Dämpfe des Kühlmittels abzuleiten bezw. zur weiteren Temperaturerniedrigung des Bades die Verbindung mit einer Saugpumpe herzustellen.

Die zu bestimmende Umkehrtemperatur ist diejenige Temperatur im Innern der Blechbüchse *hh*, welche durch eine Expansion des Gases weder erhöht noch erniedrigt wird. Sie kennzeichnet sich während der Messung des Widerstandes *e* dadurch, dass bei der Expansion der Galvanometerausschlag unverändert bleibt.

Nach einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Kühlmitteln, flüssiger Luft, flüssigem Aethylen und dem Gemisch aus fester Kohlensäure und Aether wurde mit Hülfe des letzteren die gesuchte Temperatur zu

$$-80{,}5^{\circ}$$

ermittelt, also in hinreichender Uebereinstimmung mit dem zweiten der von Witkowski angegebenen Werthe.

Unter diese Temperatur ist also der Wasserstoff nothwendiger Weise abzukühlen, damit nach dem Linde'schen Verfahren eine schliessliche Kondensation überhaupt möglich ist.

Rt.

---

[1]) Vgl. das Referat über die Arbeit von M. W. Travers, Verflüssigung des Wasserstoffs (*Phil. Mag.* **1.** *S. 411. 1901*) in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 213. 1901.*

Bemerkungen zur Gas-Thermometrie.

Von P. Chappuis. *Phil. Mag.* **3.** *S. 243. 1902.*

Die vom Verf. in Gemeinschaft mit Harker angestellten Bestimmungen des Schwefelsiedepunkts (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **20.** *S. 303. 1900*) hatten den normalen Werth

445,2°

ergeben, wobei für die Ausdehnung des Berliner Porzellans, aus welchem das Gefäss des zu den Untersuchungen benutzten Gasthermometers bestand, ein Betrag zu Grunde gelegt worden war, welcher sich aus den Beobachtungen des Verf. zwischen 0° und 100° durch Extrapolation ergab. Diese Extrapolation schien selbst für ein so weites Temperaturintervall zulässig, da der extrapolirte Betrag bei 600° von einem von Holborn und Wien[1]) beobachteten nur um 2% abwich.

Nun hat neuerdings Holborn in Gemeinschaft mit Grüneisen (vgl. *diese Zeitschr.* **21.** *S. 273. 1901*) eine über das Temperaturintervall von 250° bis 1000° sich erstreckende Neubestimmung der Ausdehnung des Berliner Porzellans ausgeführt. Bei Benutzung dieser neuen Messungen würde sich aus den Chappuis-Harker'schen Beobachtungen der Normalsiedepunkt des Schwefels zu

444,7°

ergeben, in guter Uebereinstimmung mit dem von Callendar und Griffith ermittelten.

Es sei hierzu bemerkt, dass auf diese nothwendige Korrektion des Chappuis-Harker'schen Werthes Holborn bereits hingewiesen hat, worüber man die beiden folgenden Stellen vergleiche: L. Holborn und E. Grüneisen, *Ann. d. Physik* **6.** *S. 142. 1901* und L. Holborn, *ebenda S. 250.* *Rt.*

Ueber die Aenderung des optischen Verhaltens verschiedener Gläser durch elastische Deformation.

Von F. Pockels. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 745. 1902.*

Die Gläser wurden in Form von 30×7×5 *mm* grossen parallelepipedischen Stücken untersucht. Der Druck wurde in Richtung der 7 *mm*-Kante ausgeübt. Die Flächen von 20×7 *mm* waren polirt und genau planparallel. Mittels eines Jamin'schen Interferentialrefraktors wurde die durch Kompression eintretende absolute Verzögerung der senkrecht zur Druckrichtung polarisirten Welle gemessen und mittels eines Babinet'schen Kompensators die relative Verzögerung der beiden senkrecht zu einander polarisirten Wellen. Mit Ausnahme der Flintgläser mit hohem Bleigehalt werden alle Gläser durch einseitigen Druck negativ doppelbrechend; bei einem bestimmten Bleigehalt wird das Glas für eine Farbe gar nicht doppelbrechend; eine auf Anregung des Verf. von Schott & Gen. in Jena gemachte Probeschmelzung bestätigte dies. Die Aenderung des Brechungsindex durch allseitig gleiche Kompression nimmt mit der Dichte und dem Brechungsindex der Gläser zu. Der vom Einfluss der Dichteänderung befreite, „reine“ Temperaturkoeffizient des Brechungsindex ist positiv und wächst stark mit dem Bleigehalt. *A. K.*

Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Dispersion ultravioletter Strahlen in Flussspath, Steinsalz, Quarz und Kalkspath.

Von F. J. Micheli. *Ann. d. Physik* **7.** *S. 772. 1902.*

Die Untersuchung knüpft an die von F. F. Martens (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 56. 1902*) an. Zur Einstellung des Prismas auf das Minimum der Ablenkung mit ultraviolettem Licht diente folgendes Verfahren. Aus den bekannten Brechungsexponenten konnte die Minimalablenkung (60°) für eine Linie (231) im ultravioletten Theile des Spektrums, die bei dieser Stellung des Prismas stattfindende Ablenkung (50° 15′) für eine Linie (508) im

[1]) Holborn und Wien, *Wied. Ann.* **47.** *S. 121. 1892.*

sichtbaren Theile und die Minimalablenkung (50°) für letztere Linie berechnet werden. Kamera und Prisma werden zunächst auf Minimalablenkung der Linie 508 eingestellt, dann wird die Kamera um 15′ gedreht, durch Drehung des Prismas die Linie 508 in die alte Stellung gebracht und schliesslich die Kamera um 9° 45′ gedreht. Die Untersuchung der vier Mineralien ergab, dass die Temperaturänderung des absoluten Brechungsexponenten mit abnehmender Wellenlänge wächst. *A. K.*

Ueber einige Eigenschaften der Systeme photographischer Objektive.

Von R. Sissingh. *Sonderabdr. aus Arch. Néerl.* (2) **6.** *1901* (*14 S.*).

Der Verfasser giebt in dieser Arbeit Anwendungen seiner in *dieser Zeitschr.* **21.** *S. 342. 1901* besprochenen früheren Arbeit auf photographische Objektive. Er bestimmt die Intensität der von solchen gelieferten Bilder und vergleicht dabei die Landschaftslinse mit Vorderblende mit einem symmetrischen Objektiv. Beim Teleobjektiv hebt er besonders hervor, dass Objekt- und Bildabstand verschieden sind von den entsprechenden Abständen einer einfachen dünnen Linse gleicher Brennweite. Der gegen diese Bezeichnung ($f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$ sei die Aequivalentbrennweite des Teleobjektivs) erhobene Einspruch erscheint dem Referenten nicht am Platze, da man unter Festhaltung der Definition $f' = \left(\frac{h}{\operatorname{tg} a'}\right)_{h=0}$ thatsächlich auf diese Grösse geführt wird, die allerdings mit der vorderen oder hinteren *Schnitt*-Weite nichts zu thun hat. Das optische Interstitium beim Teleobjektiv wird richtig zu $\frac{(\Delta + f_1 - f_2)^2}{\Delta}$ abgeleitet.

Nach Angabe von Regeln für die Bestimmung gewisser optischer Konstanten folgt die Ableitung des Bow-Sutton'schen Gesetzes, wonach bei hemisymmetrischen Systemen vom Maassstabe ε unter Berücksichtigung der sphärischen Aberrationen des Blendenorts die Verzeichnungsfreiheit für konjugirte Ebenen erreicht ist, wenn auch der Reduktionsmaassstab gleich ε ist. Am Schlusse des Abschnitts ist dem Verfasser der Irrthum untergelaufen, dass bei einem für Reproduktion in gleicher Grösse verwandten symmetrischen Objektive die sphärische Korrektion an sich erreicht sei, auch wenn das Einzelglied für sich mit Aberrationen behaftet ist.

Die Behandlung von hyperchromatischen Linsenkonstruktionen macht den Schluss. *A. K.*

Ueber das neue Gauss-Objektiv der Urania-Sternwarte in Kopenhagen.

Das von Hrn. Dr. M. Pauly, Vorstand der astronomischen Abtheilung der optischen Werkstätte von Carl Zeiss in Jena, ausgeführte Objektiv besitzt eine freie Oeffnung von 246 *mm* und eine Brennweite von etwa 4 *m*. Es ist ein sogenanntes Gauss-Objektiv, d. h. die sphärische Aberration ist für zwei Farben gehoben; der zu Grunde gelegte Konstruktionstypus ist jedoch nicht der Gauss'sche mit Crown voraus, sondern der Steinheil'sche mit Flint voraus. Da grössere Gauss-Objektive nur einige Mal ausgeführt worden sind, bietet es vielleicht Interesse, wenn in der folgenden Tabelle über die Leistung des Objektivs bei der Auflösung von Doppelsternen berichtet wird. Die Vergrösserung war bei allen Messungen 447-fach, bis auf die letzte Messung, bei der sie 95-fach war.

Bezeichnung des Doppelsternes	Grösse	Distanz in Sek.	Bemerk. über d. Trennung
γ Androm. B—C	5,5 — 6,0	0,40	ohne Schwierigkeit.
μ^2 Bootis	6,5 — 7,5	1,00	
1 Coron. Bor.	6,5 — 7,0	0,84	
γ „ „	4,0 — 7,0	0,54	
η „ „	6,0 — 6,0	0,87	
λ Cassiop.	6,5 — 6,5	0,42	ohne Schwierigkeit.

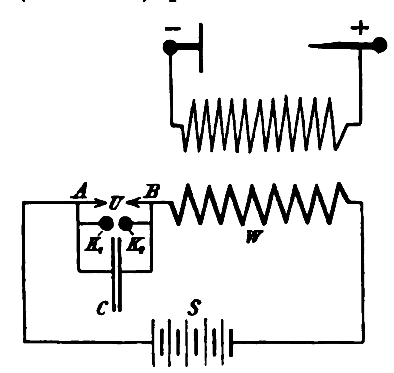
Bezeichnung des Doppelsternes	Grösse	Distanz in Sek.	Bemerk. über d. Trennung
δ Cygni	3,0 — 8,0	1,69	sehr leicht.
λ „	5,0 — 6,3	0,66	
τ „	5,0 — 8,0	0,52	
1 Delphini	6,0 —10,0	0,79	schlechte Luft, schwierig.
Σ 2396	8,0 — 9,0	0,73	
ε Equulei A.B.C.	5,7—6,2—7,1	A—B 0,90 A—C 10,07	sehr leicht.
δ „	4,0 — 5,0	0,40	
90 Herculis	5,8 — 9,1	1,63	
ζ „	3,0 — 6,5	1,07	
ω Leonis	5,5 — 7,0	0,64	sehr leicht.
γ „	2,0 — 4,0	3,67	sehr leicht mit 95-facher Vergr.

Victor Nielsen, Besitzer der Sternwarte.

Untersuchungen an Induktorien an der Hand der Bestimmungsstücke derselben.

Von Fr. Klingelfuss. *Ann. d. Physik* **5.** *S. 837. 1901.*

Der Verf. bestimmt zunächst die Abhängigkeit der Funkenlänge eines Induktoriums von der sekundären Windungszahl. Er stellt sich zu dem Zweck Sätze von Spulen mit bestimmter Windungszahl her, die er als sekundäre Wicklung nach und nach auf einen mit primärer Wicklung versehenen Eisenkern aufschieben kann. Die Funken gingen zwischen einer positiven stumpfen Spitze und einer negativen kreisförmigen Scheibe über. Die Bestimmung der Schlagweite erfolgte in der von Walter festgesetzten Weise (vgl. *diese Zeitschr.* **18.** *S. 350. 1898)*, indem der Unterbrecherstift von Hand eingetaucht und nach Messung der (konstanten) primären Stromstärke möglichst rasch wieder herausgezogen wurde. Die sekundäre Funkenstrecke wurde dann soweit verkleinert, dass bei zehnmaliger Wiederholung des Versuches der Funke 8- bis 9-mal übersprang und nur 1- bis 2-mal aussetzte. Liess man nun primäre Stromstärke und Kondensator im primären Kreise *unverändert*, so ergab sich, dass die auf diese Weise gefundenen Schlagweiten des sekundären Kreises der sekundären Windungszahl angenähert proportional sind. Es wurden Versuche an Induktorien mit geradem Eisenkern und an solchen, deren Eisenkerne bis auf einen kleinen Luftraum geschlossen waren, ausgeführt. Mit letzteren erhielt man für diese primäre Stromstärke, die von Klingelfuss die Magnetisirungsstromstärke genannt wird, eine erheblich grössere Schlagweite; ein vollständig geschlossener Eisenkreis verringert wiederum die Wirksamkeit.



Die hohen Spannungen im sekundären Kreis kommen nun dadurch zu Stande, dass im Augenblick des Oeffnens des primären Stromes ein Extrastrom von hoher Spannung entsteht, der zwischen primärer Wicklung und Kondensator oszillirt. Um die maximale Spannung dieses Extrastromes zu messen, stellt Klingelfuss parallel zur Unterbrecherstelle U (vgl. die Figur) ein Funkenmikrometer K_1 K_2 auf, dessen Kugeln 1 *cm* Durchmesser besitzen. C ist ein Kondensator von 0,1 Mikrofarad, W die primäre Spule eines Induktoriums; sein stabförmiger Eisenkern war aus weichen Blechen zusammengesetzt und hatte eine Länge von 200 *cm* und einen Querschnitt von 55 *cm*²; der Kern war mit 800 Windungen eines gut isolirten Kupferdrahtes von 0,03 *cm*² Querschnitt bewickelt. Auf diesen Kern konnten zwei gleiche Spulen von je 43000 Windungen aufgeschoben werden. Es wurden drei Versuchsreihen angestellt: a) ohne sekundäre Spulen. Man steigerte den Magnetisirungsstrom von

1 bis 17 Amp.; bei jeder Stromstärke wurden die Kugeln des Funkenmikrometers so lange einander genähert, bis bei zehnmaliger Unterbrechung nicht mehr als 2 bis 3 Funken übersprangen; b) mit *einer* sekundären Spule, die so über die primäre Spule geschoben war, dass die letztere an beiden Enden gleich weit herausragte. Als Pole der sekundären Spule dienten eine stumpfe Spitze (positiv) und eine Scheibe von 25 *cm* Durchmesser (negativ). Es wurden dieselben Versuchsreihen wie bei a) ausgeführt, wenn die sekundäre Funkenlänge 10; 20; 30; 40; 50 *cm* betrug; c) mit beiden in Serie geschalteten Spulen. Verf. stellte dieselben Versuche wie unter b) an, aber die sekundäre Funkenstrecke wurde bis auf 100 *cm* gesteigert. Die Versuche, bei denen bei Steigerung der Stromstärke zum ersten Male ohne Aussetzen eine sekundäre Entladung auftrat, wurden besonders angemerkt.

Zunächst ergab sich, dass in den Reihen b) und c) bei ein und demselben Magnetisirungsstrom die primäre Funkenlänge am Kondensator sich nicht merklich ändert, während die Entfernung der sekundären Pole von 10 auf 50 bezw. 100 *cm* vergrössert wurde, und zwar ganz gleichgültig, ob sekundär Entladungen stattfanden oder nicht. Es werden nun aus den Tabellen früherer Beobachter die Spannungen entnommen, die den primär beobachteten Luftstrecken entsprechen.

So erhielt man z. B. für die Versuche unter c)

J_1	4	6	8	10	12	14	16	Amp.
f_1	0,023	0,042	0,064	0,083	0,100	0,118	0,126	*cm*
Δ_1	1700	2500	3400	4200	4800	5500	5750	Volt
Δ_1/J_1	425	417	425	420	400	393	360.	

Es ist also die Spannung des primären Extrastromes nahezu proportional dem Magnetisirungsstrom.

Der Verfasser nimmt nun an, dass er die Spannung an den sekundären Polen dadurch erhält, dass er die primär beobachtete Spannung Δ_1 mit dem Verhältniss der Windungszahlen multiplizirt. Es ergeben sich dann für die Versuche, bei denen eben zum ersten Male ohne Aussetzen sekundäre Funken übergehen, folgende Resultate:

Funkenlänge	10	20	30	40	*cm*
Spule m. 43 000 Windungen	113 000	145 000	194 000	237 000	Volt
„ „ 86 000 „	108 000	156 000	183 000	220 000	„

Funkenlänge	50	60	70	80	90	*cm*
Spule m. 86 000 Windungen	269 000	323 000	387 000	473 000	618 000	Volt.

Die durch die Reihen b) und c) gefundenen Ergebnisse stimmen mit einander recht gut überein.

In den vorliegenden Versuchen reichte die sekundäre Spannung gerade hin, um eine Entladung hervorzurufen; es fragt sich, welche Spannungen man sekundär bei *derselben* Schlagweite anzunehmen hat, wenn man primär die Stromstärke und damit die Spannung am Funkenmikrometer steigert. Klingelfuss ist der Ansicht, dass man auch jetzt die richtige sekundäre Spannung erhält, indem man die Spannung am Funkenmikrometer mit dem Verhältniss der Windungszahlen multiplizirt. Es ist zwar dann bei demselben sekundären Elektrodenabstand die Spannung viel höher als vorher, entsprechend ist aber auch die Entladestromstärke grösser. Dies zeigt sich dadurch, dass der Funke im ersten Falle dünn und bläulich, im zweiten breit und blendend weiss aussieht. Es können also danach Funken gleicher Länge verschiedene Spannungen und Funken verschiedener Länge gleiche Spannungen haben.

Auch der Einfluss der Grösse der Kondensatoren ist nach Klingelfuss bisher nicht richtig beurtheilt worden. Es wurden aus Stanniol und Isolirpapier Kondensatoren hergestellt, die sich in mannigfachen Abstufungen einschalten liessen. Für eine bestimmte Kondensatorgrösse wurde dann der Magnetisirungsstrom jedesmal so lange erhöht, bis sekundär der Funke auf 30 *cm* sicher übersprang. Es ergab sich, dass dann jedesmal die primäre Spannung am Funkenmikrometer dieselbe blieb, sodass man auch die sekundäre

Spannung als dieselbe in allen Fällen ansehen kann. Da aber der sekundäre Funke an Breite und Helligkeit zunimmt, so muss man annehmen, dass durch Steigerung der Magnetisirungsstromstärke und Vergrösserung des Kondensators zwar nicht die sekundäre Spannung erhöht wird, wohl aber die transportirten Elektrizitätsmengen wachsen. In Verbindung mit früheren Resultaten können also Funken gleicher scheinbarer Dicke (Elektrizitätsmenge) und gleicher Länge verschiedenen Spannungen entsprechen und zwar einer niedrigeren mit grösserem Kondensator und einer höheren mit kleinerem Kondensator, während der Magnetisirungsstrom unverändert beibehalten wird.

Die Theorie, welche Klingelfuss hieran schliesst, ist nicht ganz exakt. Nimmt man an, dass die bei Herausziehen des Unterbrecherstiftes entstehenden Schwingungen im primären Kreis ungedämpft verlaufen und ist Δ_1 die maximale Spannung am Kondensator, J_1 die maximale Magnetisirungsstromstärke, die mit dem vor Unterbrechung fliessenden Strom übereinstimmend sein mag, p die Wechselzahl der entstehenden Schwingungen, K die Kapazität des Kondensators in Mikrofarad, so ist $\Delta_1 = \frac{J_1 \cdot 10^6}{\pi p K}$.

Bei den letzten Versuchen über die Wirksamkeit des Kondensators hatte Δ_1 unverändert denselben Werth 2600. Man kann somit für $\Delta_1 = 2600$ die Wechselzahlen p berechnen. Es wurde gefunden

J_1	7,6	9,6	11,3	15,0	20,0	25,5	Amp.
K	0,08	0,32	0,48	0,80	1,60	2,40	Mikrofarad
p	11 640	3700	2870	2288	1525	1290	pro Sek.
L	0,01	0,023	0,026	0,024	0,027	0,025	Henry.

Vernachlässigt man den Widerstand des primären Kreises, so hängt Schwingungszahl, Kapazität des Kondensators und Selbstinduktion L des Kreises durch die Gleichung zusammen: $p = \frac{10^3}{\pi \sqrt{KL}}$; Ref. hat aus dieser Gleichung den Selbstinduktionskoeffizienten L in der letzten Zeile der vorstehenden Tabelle berechnet. Dass im Uebrigen die Wechselzahl mit wachsender Kapazität abnimmt, hat Klingelfuss dadurch demonstrirt, dass er den Entladefunken durch einen starken, konstanten Luftstrom seitlich abbläst; man beobachtet dabei Streifen, aus deren Breite man auf die Wechselzahl schliessen kann.

Die variabelen Bedingungsgrössen bei einem Induktorium befinden sich nach der Bezeichnungsweise des Verf. im *Normalzustande*, wenn Kapazität und Magnetisirungsstrom sich so zu einander verhalten, dass die maximal zulässige Funkenlänge damit eben erreicht werden kann, aber nicht mehr erreicht wird, wenn entweder die Kapazität vergrössert oder die Magnetisirungsstromstärke verkleinert wird.

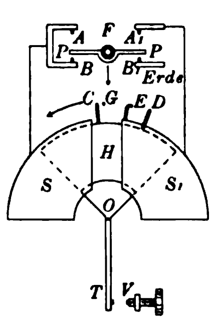
Auf Grund der vorliegenden Resultate kann man nunmehr mit ziemlicher Sicherheit die Bestimmungsstücke eines Induktoriums im Voraus berechnen. Die neuen Induktorien von Klingelfuss zeichnen sich durch eine besonders niedrige Windungszahl aus. Während z. B. ein Induktorium von Carpentier für 40 bis 45 *cm* Funkenlänge 153 000 Windungen erforderte, besitzen Apparate von Klingelfuss für 100 *cm* Funkenlänge nur 86 000 Windungen. Ein abstöpselbarer Kondensator erlaubt jederzeit, den „Normalzustand" herzustellen. Der für dieses Induktorium nothwendige Kondensator ist ungewöhnlich klein (etwa 0,1 Mikrofarad). *E. O.*

Ueber ein elektrostatisches Relais.

Von V. Crémieu. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 524. 1902; Journ. de phys.* ***1.*** *S. 583. 1902.*

Wünscht man durch Kontakte, die ein bewegliches System macht, Stromkreise behufs einer automatischen Regulirung zu schliessen, so stösst man auf Schwierigkeiten, weil einerseits ein gewisser Druck an der Kontaktfläche erreicht werden muss, damit ein Strom zu Stande kommen kann; andererseits schweisst der Induktionsfunken beim Oeffnen des Kontaktes die Metalle leicht aneinander und es gehört eine grössere Kraft dazu, um das „Kleben" zu überwinden.

Um diese Schwierigkeiten zu beseitigen, konstruirte **Crémieu** ein „elektrostatisches Relais". An dem beweglichen System, welches den Zustand der automatisch zu regulirenden Grösse anzeigt, ist ein Platinblech PP befestigt (vgl. die Figur), das sich im Gleichgewichtszustand leicht gegen die Kontakte AA_1 legt; letztere stehen in Verbindung mit den Quadranten S und S_1 eines Elektrometers; der leichte Druck gegen die Kontakte A genügt jedenfalls, um die Quadranten auf dasselbe Potential zu bringen. Die aus einem vergoldeten Glimmerblatt bestehende Nadel H trägt einen Stift C, der sich, wenn S und S_1 dasselbe Potential besitzen, gegen einen auf ein hohes Potential gebrachten Draht G legt; dadurch wird die Nadel ebenfalls geladen, verbleibt aber in ihrer Stellung. Aendert sich jetzt der Zustand der automatisch zu regulirenden Grösse, so fängt PP an sich zu bewegen und legt sich gegen BB_1. Dadurch wird der Quadrant S an Erde gelegt; die Nadel des Quadrantenelektrometers beginnt sich zu drehen, bis ein mit der Nadel verbundener Hebel T an die Schraube V stösst und dadurch den die automatische Regulirung auslösenden Strom schliesst. In demselben Augenblick berührt aber ein auf der Nadel befestigter Kontakt D den an S_1 befestigten Stift E und bringt dadurch auch S_1 auf das hohe Potential der Nadel, sodass die Kraft, mit der T gegen V gedrückt wird, noch weiter wächst. Hat die automatische Regulirung gewirkt, so kehrt PP in die Lage AA_1 zurück und das Spiel beginnt von Neuem. Wesentlich an der Methode ist, dass der leichte Druck von PP gegen AA_1 und BB_1 genügt, um die Potentiale auszugleichen, und dass beim Lösen dieser Kontakte Funken nicht auftreten können; dagegen hat man es durch geeignete Abmessungen des Quadrantenelektrometers und der Höhe des Potentiales G in der Hand, die Ablenkungskraft der Nadel H so gross zu machen, dass der Strom bei TV sicher geschlossen und unterbrochen wird. *E. O.*



Ueber die Verwendung des Quadrantenelektrometers zur ballistischen Messung der magnetischen Feldstärke.

Von J. Königsberger. *Ann. d. Physik* **6**. *506. 1901.*

Wenn ein Solenoid von der Fläche q und der Windungszahl n aus einem Feld von der Stärke H_0 in ein solches von der Stärke H gebracht wird und wenn dann V das mittlere Potential zur Zeit dt bedeutet, so ist $\int V dt = nq(H - H_0)$. Die Grösse $\int V dt$ lässt sich nun mit dem Quadrantenelektrometer ebenso messen wie $\int i dt$ mit dem ballistischen Galvanometer und man kann so die Feldstärke bestimmen. So lange die Ablenkungen proportional V sind, ist $\int V dt = A \tau a/\pi$, wo A den Reduktionsfaktor für einen Skalentheil bedeutet, a die Anzahl der Skalentheile und τ die Schwingungsdauer der Nadel. Zeigt das Instrument, wie dies bei allen Quadrantenelektrometern der Fall ist, eine merkliche, aber konstante Dämpfung, so muss der Ausdruck noch mit dem bekannten Faktor $k^{(1/\pi)\,\mathrm{arctg}\,(\pi/\lambda)}$ multiplizirt werden. Verf. benutzte zur Messung ein von **Himstedt** angegebenes Quadrantenelektrometer mit vier Aluminiumnadeln, die an einem versilberten Quarzfaden aufgehängt sind (*Wied. Ann.* **50.** *S. 752. 1893*). Die Dämpfung wird bei diesem Instrument bewirkt durch ein astatisches, senkrecht hängendes Nadelpaar, welches in einem Kupferzylinder schwingt; durch Auf- und Abschieben des Zylinders kann die Dämpfung variirt werden. Verf. benutzte diese Methode, um bei der Bestimmung der Suszeptibilität des Wassers die verwendete Feldstärke zu messen. *W. J.*

Neu erschienene Bücher.

A. Miethe, Lehrbuch der praktischen Photographie. 2. Aufl. gr. 8°. VIII, 445 S. m. 180 Abbild. Halle, W. Knapp 1902. 9,00 M.

In zweiter Auflage liegt das Lehrbuch der praktischen Photographie von Prof. A. Miethe vor. In der Anordnung des Stoffes und seinem Inhalt schliesst es sich im Wesent-

lichen der ersten Auflage an; in den einzelnen Kapiteln sind die seit dem Jahre 1895 erfolgten Verbesserungen in den Verfahren und Neuerungen in Apparaten und optischen Instrumenten gebührend nachgetragen.

Das Werkchen behandelt das gesammte Gebiet der photographischen Technik, soweit es von dem Fachmann, d. h. dem Portrait- und Landschafts-Photographen, und dem Amateur beherrscht werden muss, wenn seine Arbeiten erspriessliche Erfolge aufweisen sollen. Der Stoff ist unter drei Gesichtspunkte gruppirt, nämlich

Theorie und Beschreibung der zur Anwendung kommenden optischen Instrumente und Apparate (Abschnitt I, III),
Theorie und praktische Ausübung der gebräuchlichen Verfahren (Abschnitt II, IV bis VI),
Photographische Aesthetik (Abschnitt VII).

Die bestgelungenen Theile des Werkes liegen in den Abschnitten IV bis VI, in denen die praktische Ausübung der im II. Abschnitt in kurzer Weise skizzirten Verfahren gelehrt wird. An allen Stellen verrathen die gegebenen Vorschriften und Hinweise den erfahrenen Fachmann, der aus der Fülle eigener Erfahrung schöpft. Jeder, auch der bewanderte Praktiker, wird in den Darlegungen Neues finden und zu weiteren Versuchen angeregt werden.

Der mehr theoretische Theil (Abschnitt II) ist leider etwas kurz behandelt und nicht frei von zum Theil sinnentstellenden Druckfehlern, durch die das Verständniss für den Neuling in diesem Gebiet mindestens erschwert wird; solche Stellen finden sich *S. 97* bei der Beschreibung des Verfahrens der Herstellung der Bromsilberemulsion, *S. 103* bei der Darstellung der Verstärkung mit Bromkupfer, *S. 93* bei der Beschreibung der photographischen Prozesse mit Chromsalzen.

Das zur Anfertigung von Bromsilberemulsion gegebene Rezept könnte füglich weggelassen werden; denn eine Arbeitsvorschrift für den Anfänger giebt das Lehrbuch nicht. So wird angegeben: Man mische die bromsalzhaltige Gelatinelösung (*a*) mit der Silbersalpeterlösung (*b*), ohne aber auszuführen, in welcher Weise, ob *a* zu *b* oder *b* zu *a* hinzugesetzt werden soll, und in welchen Quanten. Bekanntlich ist es nicht gleichgültig, in welcher Art bei der Mischung verfahren wird. Beim Zugiessen der bromsalzhaltigen Gelatine zur Silbernitratlösung resultirt leicht ein dichroitischer Schleier, und die Korngrösse ist ebenfalls von der Art der Mischung abhängig. Derartige für die Praxis nicht unwesentliche Kunstgriffe müssen dem Anfänger mitgetheilt werden, wenn man ihn nicht nutzlose Versuche ausführen lassen will. Ferner wird direkt vorgeschrieben, nach dem Sieden die Emulsion nochmals tüchtig aufzuschütteln und dann erst zu der Vorrathsgelatinelösung hinzuzufügen. Nun sedimentirt aber beim Sieden fast regelmässig etwas grobkörniges Bromsilber, dass zu allerlei Störungen in den Platten Anlass giebt. Am einfachsten entfernt man den grössten Theil dieses grobkörnigen Bromsilbers, indem man die Emulsion nach dem Sieden nicht zu langsam abkühlen und absetzen lässt und dann sorgfältig dekantirt. Wie soll die in Eiswasser abgekühlte und *erstarrte* Emulsion in ein Becherglas umgegossen werden? Das Befeuchten des *sämischgaren* Leders mit Alkohol beim Filtriren ist zwecklos. Viel besser ist es, das Lederfilter vorher gut mit schwacher Sodalösung zu waschen und in destillirtem Wasser nachzuspülen; die Emulsion fliesst sehr gut durch das Filter. Eine Vorpräparation der Glasplatten mit Gelatine 1:1000 (wohl Chromgelatine?) ist für den Anfänger nicht zu empfehlen; die Emulsion fliesst beim Giessen sehr schlecht, und der Neuling hat nur Aerger und Verdruss. Wenn ja auch dem Anfänger nur dazu gerathen wird, der Wissenschaft halber eine Emulsion anzufertigen, so sollte das gegebene Rezept wenigstens so abgefasst sein, dass nicht unnöthige Schwierigkeiten erwachsen; sonst lasse man es lieber ganz fort.

In dem ersten Abschnitt hat sich der Verfasser die Aufgabe gestellt, dem mathematisch und physikalisch nicht Geschulten die Wirkungsweise der photographischen Objektive klarzulegen, und zwar ohne Formeln und mathematische Entwicklungen. Die hierdurch bedingten Schwierigkeiten zu überwinden, ist dem Verfasser aber nicht überall gelungen.

So wird z. B. *S. 23* bei der Erörterung der Beziehungen zwischen der Lichtstärke, dem Durchmesser der benutzten Blende und der Brennweite nur die Abhängigkeit der Lichtstärke

von dem Durchmesser der Blende diskutirt, der durch die Verschiedenheit der Brennweiten bedingte Einfluss auf die Lichtstärke aber in der Erläuterung ausser Acht gelassen, in dem Endschluss aber einfach mit einbezogen. Ausdrücke wie „Oberfläche eines Kreises“ sollte man lieber nicht wählen.

Sehr anfechtbare Methoden werden zur Prüfung der photographischen Objektive empfohlen. Dieser Umstand fällt um so schwerer ins Gewicht, als Prof. Miethe in weiten Kreisen als Autorität auf dem Gebiet der photographischen Optik anerkannt ist und es nicht zu bezweifeln ist, dass die empfohlenen Methoden in Lehrbüchern und Journalen noch weitere Verbreitung finden. Die gegebenen Vorschriften werden als „die einfachsten und die genauesten Resultate verbürgend“ hingestellt, deren Ausübung Jedem, auch dem nicht Geübten, dringend angerathen wird, weil „die Angaben der Preisverzeichnisse der optischen Institute vielfach den Thatsachen nicht entsprechen“. In erster Linie wird die Auswerthung der Aequivalentbrennweite und der relativen Oeffnung Jedem angerathen. Die zur Bestimmung der Brennweite vorgeschlagene Methode stützt sich auf die Messung der Auszugsänderung bei Einstellung eines Objektivs auf natürliche Grösse und auf Unendlich. Nun wird aber als Objekt, auf das zur Abbildung in natürlicher Grösse eingestellt werden soll, ein aus zwei in beliebigem Abstand in Karton ausgeschnittenen Oeffnungen bestehendes Originalbild empfohlen und zur Einstellung auf diese ausserachsial liegenden Marken die Verwendung der grössten Oeffnung vorgeschrieben. Das erhaltene Resultat wird also stets in Folge der meist vorhandenen, bald stärkeren oder geringeren, Bildfeldkrümmung von dem wahren Werth Abweichungen aufweisen, ganz abgesehen noch davon, dass eine Kontrole der Parallelität zwischen Objekt und Visirscheibe bei diesem Objekt ausgeschlossen ist.

Die Methode zur Auswerthung der relativen Oeffnung kann nur unter ganz bestimmten Umständen zu richtigen Werthen führen. Die Vorschrift lautet: Nachdem nach Entfernung der Hinterlinse die Frontlinse auf ein entferntes Objekt eingestellt ist, messe man die Entfernung von der Vorderlinse bis zur Mattscheibe und die Entfernung von der Blende bis zur Mattscheibe. Der Durchmesser der wirksamen Oeffnung ergiebt sich aus dem der benutzten Blende durch Multiplikation mit dem Quotienten der oben genannten Strecken. Zu Grunde liegt der Methode die bekannte Beziehung zwischen der Einfallshöhe h eines achsenparallel einfallenden Strahls, der Brennweite f und dem Winkel α, den der konjugirte Strahl im Bildraum mit der Achse bildet, $h = f \operatorname{tg} \alpha$.

Nach dem Wortlaut der Vorschrift kann unter Entfernung von der Linse bis zur Mattscheibe nur die Entfernung des hinteren Scheitels der Frontlinse von der Brennebene verstanden werden. Da dieser Abstand aber nur unter der speziellen Voraussetzung, dass der II. Hauptpunkt mit dem hinteren Scheitel zusammenfällt, sich mit der Aequivalentbrennweite der Linse deckt, so wird man im Allgemeinen nicht die wirklichen Werthe der wirksamen Oeffnung erhalten.

Die Frontlinse der gebräuchlichen photographischen Objektive hat meist die Form eines Meniskus, und der II. Hauptpunkt pflegt meist noch vor dem vorderen Scheitel der Linse zu liegen, sodass im Allgemeinen zu kleine Werthe sich ergeben. Die folgende Tabelle giebt einige Messungen verschiedener Objektivtypen, alle reduzirt auf eine Blende von 10 *mm* Durchmesser.

Objektiv		Blendendurchmesser in *mm*	Durchmesser der wirksamen Oeffnung		
			nach Miethe	nach unten beschriebener Methode	mit dem Fokometer ermittelt
Planar	160 *mm*	10	10,46	13,15	13,33
Goerz Doppel-Anastigmat	150 „	10	10,09	11,33	11,33
Zeiss Doppel-Protar . .	163 „	10	10,26	11,33	11,40
Steinheil Orthostigmat .	240 „	10	10,18	11,75	11,45
Voigtländer Euryskop .	140 „	10	10,31	11,19	11,18
Busch Portraitkopf . . .	200 „	10	11,46	11,83	11,70
Triple-Anastigmat . . .	188 „	10	10,09	11,60	11,60
Zeiss Protar IIa	167 „	10	10,07	12,00	11,80
Dallmeyer Stigmatic Lens	197 „	10	10,21	11,45	11,30

Die in der vierten Spalte gegebenen Werthe sind in folgender Weise gefunden. Man halte unter Vorlegen eines auf Glas getheilten Maassstabes das zu untersuchende Objektiv in der Richtung gegen eine entfernte Lichtquelle von geringer Ausdehnung (Kerzenflamme) so, dass das von dem Objektiv entworfene Bild der Lichtquelle in die Pupille des beobachtenden Auges fällt. Man erblickt jetzt die gesammte Oeffnung des Objektivs gleichmässig erleuchtet, durchzogen von den sich dunkel abhebenden Theilstrichen der vorgeschalteten Skale, an denen man leicht den Durchmesser der wirksamen Oeffnung ablesen kann.

Eine ganz ähnliche Versuchsanordnung schlägt Prof. Miethe zur Untersuchung auf Zentrirungsfehler vor. Er sagt: Man halte das Objektiv mit ausgestrecktem Arm *etwa* in der Richtung gegen eine 4 bis 5 *m* entfernte Kerze. Wenn dann beim Hindurchsehen durch die Linse die sichtbaren Spiegelbilder bei jeder Stellung der Linse *nahezu* in einer Reihe liegend erscheinen, ist das Objektiv genügend zentrirt; kleine Abweichungen finden sich selbst bei den vorzüglichsten Instrumenten.

Bei der Ausführung dieser Vorschrift werden im Allgemeinen die Spiegelbilder nie in eine gerade Linie fallen, es müsste denn sein, dass die Achse des Objektivs genau auf die Lichtquelle gerichtet ist. Die Lage der Spiegelbilder zu einander kann höchstens dazu verwendet werden, eine Lichtquelle möglichst achsial aufzustellen. Erst dann, wenn es auf keine Weise möglich wäre, die Spiegelbilder beim Verschieben der Lichtquelle senkrecht zur Achse in eine Gerade zu bringen, könnte man die Vermuthung aussprechen, das Objektiv sei nicht gut zentrirt. Dass aber optische Institute Objektive aus der Hand geben, bei denen die Zentrirung in so mangelhafter Weise ausgeführt ist, dass die angegebene Methode diese Fehler erkennen lässt, ist kaum anzunehmen. Ebenso selten wird es wohl vorkommen, dass ein optisches Institut der Objektivfassung eine so mangelhafte mechanische Ausführung zu Theil werden lässt, dass ein Hinweis darauf nothwendig ist, zu prüfen, dass „die Blende leidlich in das Objektiv hineinpasst“ (*S. 46*).

In dem Kapitel 5 des I. Abschnittes wird bei Erörterung der perspektivischen Eigenschaften die Tiefenfrage angeschnitten. In dieser Richtung herrschen leider noch sehr verworrene Ansichten in den Fachkreisen, selbst bei sehr bewanderten Praktikern; Prof. Miethe hätte sich ein sehr grosses Verdienst erworben, wenn er etwas dazu beigetragen hätte, die Tiefenfrage in korrekter Form und mit allen Konsequenzen zu behandeln. Statt dessen giebt er eine Darstellung, die die bestehenden Verhältnisse nur zum Theil richtig darlegt. Die Anschauung Miethe's ist die folgende (vgl. *S. 51*, *57*, *417 u. flgde.*):

1. Bei gleichen Brennweiten hängt die Tiefenzeichnung, d. h. die Fähigkeit eines Objektivs, die innerhalb einer gewissen Strecke in der Richtung eines Hauptstrahls z. B. der Achse liegenden Objektpunkte mit genügender Schärfe abzubilden, nicht ab von dem Konstruktionstypus, sondern nur von der benutzten relativen Oeffnung und dem Abstand des scharf eingestellten Punktes vom Objektiv.

2. Bei Abbildung desselben Objektes in derselben Grösse durch Objektive verschiedener Brennweite besitzt bei gleicher relativer Oeffnung (Lichtstärke) das langbrennweitige Objektiv grössere Tiefe als das Instrument kürzerer Brennweite.

Das unter 1. Aufgestellte besteht zu Recht; das unter 2. Ausgesprochene ist aber nicht richtig.

Die Tiefe selbst hängt nur ab von der absoluten Grösse der Eintrittspupille D, dem in der eingestellten Ebene stattfindenden Abbildungsmaassstab $(1:n)$, dem Abstand der Eintrittspupille von der eingestellten Ebene A und der zulässigen Unschärfe, d. h. dem Durchmesser δ des zulässigen Undeutlichkeitskreises. Dieser ist nichts Anderes als das Bild der Projektion der Eintrittspupille in die eingestellte Ebene von dem betrachteten Objektpunkt aus. Als Tiefe T eines Objektivs ergiebt sich

$$T = \frac{2\,n\,\delta A}{D\left(1 - \frac{n^2\delta^2}{D^2}\right)}.$$

Bei den symmetrisch gebauten Objektiven fallen Ein- und Austrittspupille zusammen mit den Hauptpunkten. Bei den gebräuchlichen unsymmetrischen Objektiven liegt die Ein-

trittspupille dem I. Hauptpunkt so nahe, dass relativ gegen die in der Portraitphotographie vorkommenden Objektabstände die Differenz vernachlässigt werden kann. Es kann also bei den gewöhnlichen photographischen Objektiven — Teleobjektive verhalten sich etwas anders — der Objektabstand von der Eintrittspupille gleich $(n+1)f$ gesetzt werden. Führt man nun noch die relative Oeffnung $1:\lambda$, also $D = f/\lambda$ ein, so ergiebt sich

$$T = \frac{2n(n+1)\lambda\delta}{1 - \frac{n^2\delta^2}{D^2}}.$$

Die Tiefe wird also bei gleicher relativer Oeffnung λ um so grösser, je kleiner der absolute Werth von D wird, d. h. je kürzer die Brennweite des benutzten Objektivs ist.

Unter den normalen Verhältnissen variirt bei der Portraitphotographie n zwischen 1 und 25; δ in demselben Sinn von 0,3 bis 0,1 *mm*. Andrerseits wird man aus anderen Ursachen (Perspektive) nie zu kurze Brennweiten verwenden, sodass in Anbetracht des Umstandes, dass man stets mit möglichst grossen Oeffnungen arbeitet, D nie Werthe enthält, die unterhalb 10 *mm* liegen. Der Werth des Nenners ist also unter den gewöhnlich bestehenden Verhältnissen sehr wenig von der Einheit verschieden, sodass die Tiefe praktisch unabhängig ist von der Brennweite, wenn der Abbildungsmaassstab vorgeschrieben ist. Was sich bei der Verwendung langer Brennweiten ändert, ist einzig und allein die Perspektive, die nur abhängig ist von der Entfernung der Eintrittspupille von dem eingestellten Objekt.

Wenn vielleicht einzelne Praktiker gefunden zu haben glauben, die Tiefe bei längerbrennweitigen Systemen sei grösser als bei kurzen Brennweiten, so ist diese Beobachtung nicht auf die Brennweite, sondern auf die Bildfeldkrümmung des benutzten Objektivtypus zurückzuführen. Die Bildfeldkrümmung bei dem Petzval-Portraitkopf ist relativ gross und wird sich bei kurzen Brennweiten und Ausnutzung grösserer Bildwinkel viel stärker geltend machen, als bei langen Brennweiten, bei denen auf das gleiche Objekt benutzt viel kleinere Bildwinkel ausgenutzt werden. Hierzu kommt noch, dass in der Portraitpraxis meist auf einen ausserachsialen Bildpunkt eingestellt wird (Augenbrauen), da die Objektivachse meist auf die Halspartie gerichtet ist.

Prof. Miethe deutet bei dem Abdruck der Voigtländer'schen Tabelle (*S. 417*) an, dass diese Tabelle besonders in Hinsicht auf genügende Tiefe der aufgeführten Objektive aufgestellt sei; diese Angabe ist also irrig, denn die Tiefe ist bei demselben Bildformat bei gleicher Lichtstärke von der Brennweite unabhängig. Der leitende Gesichtspunkt bei der Aufstellung der Tabelle war wahrscheinlich die alte Malerregel: Man lege das Zentrum der Perspektive in einen Abstand vom Hauptgegenstand, der dem $2\frac{1}{2}$-fachen der grössten Ausdehnung des dargestellten Sujets gleich ist. Setzt man die Diagonale der Formate des Kabinettbilds und Visitkartenbilds 170 und 105 *mm*, so ergiebt sich:

	Kabinettbrustbild 1:5	Visitbrustbild 1:11	Kabinettstandbild 1:19	Visitstandbild 1:25
Minimalabstand der Eintrittspupille nach Voigtländer	2,1 *m*	2,9 *m*	8,07 *m*	6,6 *m*
	2,5	2,6	7,2	6,3

Beim Abdruck dieser Tabelle ist ein Versehen vorgekommen, das nicht ungerügt bleiben kann; denn es sind sogar in den Text die falschen Angaben übergegangen. Es ist nämlich beim Ersetzen der Voigtländer'schen Bezeichnung der Objektive der Durchmesser der Linsen (in *mm* gemessen) als Brennweite der Objektive (in *cm*) angegeben. Hierdurch ist es gekommen, dass für ein Kabinettbrustbild sogar ein Objektiv von 105 *cm* Brennweite empfohlen wird (*S. 419.*)

In der Auswahl der im Text gegebenen Zahlenbeispiele hat nicht immer eine glückliche Hand gewaltet. So wird (z. B. *S. 70 u. 71*) von einer Aufnahme für Kabinettbrustbild angegeben, man solle einen Objektabstand von mindestens 4 bis 5 *m* wählen, weil man aus

einem solchen eine Person zu betrachten pflege; das empfehlenswerthe Objektiv müsste also eine Brennweite von 66 bis 83 *cm* besitzen. Dies ist sicher zu lang (vgl. auch die Tabelle auf *S. 419*).

S. 50 wird ausgeführt, ein Objektiv von 50 *cm* Brennweite und einer Oeffnung von 1 : 4 bilde bei Einstellung auf Unendlich alle Objekte mit genügender Schärfe ab, die in grösserer Entfernung als 100 *m* vom Objektiv liegen. Der Undeutlichkeitskreis für einen in 100 *m* Abstand liegenden Punkt besitzt einen Durchmesser von 0,63 *mm*. Dies ist auf keinen Fall genügende Schärfe.

S. 417 wird behauptet, ein Objektiv von 4 *m* Brennweite soll bei einer Oeffnung 1 : 6 und Abbildung der eingestellten Ebene in natürlicher Grösse einen Tiefenraum von 12 *cm* scharf beherrschen. Nach der Rechnung ergiebt sich selbst bei einer zulässigen Unschärfe von 0,33 *mm* eine Tiefe von nur 8 *mm*.

Angesichts der Bedeutung der Tiefenfrage für die Praxis ist eine korrekte Darlegung der Faktoren, von denen Tiefe und Perspektive abhängt, in allgemein verständlicher Weise sehr erwünscht. Unterzieht sich Hr. Prof. Miethe dieser nicht leichten Aufgabe in einer späteren Auflage seines Lehrbuches, so kann er des Dankes weiter Kreise sicher sein. *Schüttauf.*

H. C. Jones, *Elements of physical Chemistry.* roy. 8°. London 1902. 17,50 M.

F. Klein, Anwendung der Differential- u. Integralrechnung auf Geometrie, e. Revision der Prinzipien. Vorlesung, geh. während des Sommersem. 1901. Ausgearb. v. C. Müller. 4°. VIII S. u. 468 autogr. S. m. Fig. Leipzig, B. G. Teubner in Komm. 1902. 10,00 M.

K. Weierstrass, Mathematische Werke. IV. Bd. Vorlesgn. üb. die Theorie der Abel'schen Transzendenten. Bearb. v. G. Hettner u. J. Knoblauch. gr. 4°. XIV, 632 S. Berlin, Mayer & Müller 1902. 40,00 M.; geb. in Halbfrz. 43,60 M.; auf Schreibpap. geh. 54,00 M.

H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. 2. Bd. gr. 8°. XI, 696 S. m. 57 Fig. u. 4 Taf. Leipzig, S. Hirzel 1902. 40,00 M.; geb. 44,00 M.

E. v. Lommel, Lehrbuch d. Experimentalphysik. 8. u. 9. neubearb. Aufl., hrsg. v. Prof. Dr. W. König. gr. 8°. X, 592 S. m. 1 Portr., 429 Fig. u. 1 Spektraltaf. Leipzig, J. A. Barth 1902. 6,40 M.; geb. in Leinw. 7,20 M.

A. Krisch, Astronomisches Lexikon. Auf Grundlage der neuesten Forschungen besonders der Ergebnisse der Spektral-Analyse u. der Himmels-Photographie. Zusammengestellt u. bearb. gr. 8°. VI, 629 S. m. 327 Abbildgn. Wien, A. Hartleben 1902. Geb. in Halbfrz. 12,50 M.

L. Montillot, *Téléphonie pratique.* 2. Ausg. In 2 Bdn. gr. 8°. 948 S. m. 10 Fig. u. 716 Fig. Geb. 25,00 M.

J. Basin, *Leçons de Physique.* 2. Ausg. In 3 Bdn. 8°. 1552 S. m. 1055 Fig. Paris 1902. 8,50 M.

A. Tuckermann, *Index to the Literature of the Spectroscope, 1887 — 1900 (both inclusive).* roy. 8°. III, 373 S. Washington (*Smiths. Misc. Coll.*) 1902. 10,00 M.

Fortsetzung von *Index to the Literature of the Spectroscope.* 433 S. 1888. 10,50 M.

A. v. Waltenhofen, Die internationalen Maasse, insbesondere die elektrischen Maasse, f. Studirende der Elektrotechnik in Theorie u. Anwendg. dargestellt u. durch Beispiele erläutert. 3., zugleich als Einleitg. in die Elektrotechnik bearb. Aufl. gr. 8°. XI, 306 S. m. 42 Fig. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1902. 8,00 M.; geb. 9,00 M.

Müller-Pouillet's Lehrb. d. Physik u. Meteorologie. 9. umgearb. u. verm. Aufl. v. Prof. Dr. L. Pfaundler. In 3 Bdn. Mit 2981 Abbildgn. u. 13 Taf., zum Thl. in Farbendr. 1. Bd. Neue verb. u. ergänzte Ausg. gr. 8. XXI, 896 S. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1902. 12,00 M.

E. Warburg, Lehrb. d. Experimentalphysik f. Studirende. 6. verb. u. verm. Aufl. gr. 8°. XX, 408 S. mit zahlr. Orig.-Abbildgn. im Text. Tübingen, J. C. B. Mohr 1902. 7,00 M.; geb. 8,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied, Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Oktober 1902.** Zehntes Heft.

Michelson's Zurückführung des Meter auf einige Wellenlängen des Kadmiumlichtes[1]).

Von
P. Culmann in Paris.

Die Idee, die Maasse auf in der Natur vorhandene Grössen zurückzuführen, ist sehr alt. Unter Anderen schlug, wie Guillaume bemerkt, schon im Jahre 1670 Mouton vor, als Längeneinheit die Länge des Bogens zu benutzen, welcher auf dem Erdumfang einer Minute entspricht. Realisirt wurde ein Maasssystem dieser Art zum ersten Male bei der Aufstellung des metrischen Systems. Das Meter entspricht indessen bekanntlich seiner Definition nicht genau und wenn das Normalmaass verloren ginge, würde es keinem Metrologen einfallen, es aus seiner Definition neu ableiten zu wollen. Um so wichtiger ist es, die Konstanz der Normalmaasse prüfen zu können, zumal die Arbeiten der Neuzeit gezeigt haben, dass auch die unveränderlichsten Metalle im Laufe der Zeit Veränderungen erleiden, welche die kleinsten messbaren Grössen übersteigen.

Seitdem man die Wellenlänge des Lichtes mit grosser Genauigkeit zu messen gelernt hat, ist schon mehrmals vorgeschlagen worden, die am genauesten definirbaren Wellenlängen zur Kontrole für die Unveränderlichkeit der Längenmaasse zu benutzen. Bis in die letzten Jahre waren indessen die besten mit Gittern ausgeführten Wellenlängen-Messungen nicht so genau, dass man hätte hoffen dürfen, mit ihrer Hülfe die, wenn überhaupt vorhandenen, jedenfalls ausserordentlich kleinen Veränderungen der Längen-Prototype aus Platiniridium nachzuweisen. Für eine derartige Kontrole waren genauere Messungen nöthig.

Hr. A. A. Michelson hatte sich die Aufgabe gestellt, ein derartiges Verfahren aufzusuchen und zu studiren. Während er mit dieser Arbeit beschäftigt war, wurde

---

[1]) Bearbeitet nach A. A. Michelson, *Détermination expérimentale de la valeur du mètre en longueurs d'ondes lumineuses. Trav. et Mém. du Bureau intern. des Poids et Mesures* ***11.*** *1895* und Ch. Éd. Guillaume, *La Convention du Mètre et le Bureau international des Poids et Mesures. Extrait du Bull. de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* ***101.*** *S. 146. 1902* (Paris, Gauthier-Villars).

Anmerk. der Red. — Bisher ist in deutscher Sprache noch kein ausführlicher Bericht über die Arbeit Michelson's erschienen. Es bestand schon seit einigen Jahren die Absicht, diejenigen Leser dieser Zeitschrift, denen die Originalabhandlung nicht zugänglich ist, mit dieser fundamentalen Untersuchung eingehend bekannt zu machen. Wenn aus verschiedenen Gründen diese Absicht erst jetzt verwirklicht wird, so hofft die Redaktion dennoch, dass bei der Bedeutung, welche die Messmethoden unter Benutzung von Interferenzstreifen in den letzten Jahren gewonnen haben, vielen Lesern die obige Bearbeitung noch willkommen sein wird.

Die meisten der benutzten Figuren sind durch freundliche Bemühungen des Hrn. Dr. Guillaume in Sèvres der Zeitschrift von der *Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale* in Paris in zuvorkommendster Weise zur Verfügung gestellt worden.

er vom *Comité du Bureau international des Poids et Mesures* auf Veranlassung von dessen Mitglied Dr. Gould eingeladen, seine Messungen in Sèvres auszuführen. Michelson nahm dieses Anerbieten an. Die nöthigen Apparate wurden in Amerika unter Leitung von Michelson's damaligem Assistenten Wadsworth hergestellt, der mechanische Theil von der *American Watch Tool Company* in Waltham, Mass., der optische Theil von J. A. Brashear. Die von dem letzteren geschliffenen ebenen Spiegel weichen nach Michelson nicht um $^1/_{20}$ Wellenlänge von ihrer richtigen Gestalt ab.

Michelson hatte schon in Amerika zahlreiche Lichtquellen auf ihre Brauchbarkeit für den hier in Betracht kommenden Zweck untersucht. Um die Messung mit Erfolg ausführen zu können, muss man eine Strahlung von genau definirter Wellenlänge besitzen, welche im Spektrum eine möglichst feine, einfache Linie erzeugt. Die meisten Spektrallinien sind zu breit oder zerfallen bei genügender Vergrösserung in mehrere Komponenten. Die besten Resultate erzielte Michelson mit Metalldämpfen, welche im Vakuum durch elektrische Entladungen zum Leuchten gebracht wurden, und unter den 25 genauer untersuchten Metallen schien das Kadmium das geeignetste. Michelson benutzte drei Linien des Kadmiumspektrums, welche wir als die rothe, grüne und blaue Linie bezeichnen wollen. Am feinsten ist die rothe Linie, die grüne[1]) und blaue stehen ihr nur wenig nach. Für einige Messungen wurde auch noch eine vierte, violette Kadmiumlinie mit herangezogen.

Die Aufstellung der Apparate in Sèvres begann im Juli 1892. Im Oktober desselben Jahres wurden die ersten definitiven Messungsreihen angestellt, die bis zum März des folgenden Jahres dauerten.

Im Folgenden soll zuerst das Messverfahren auseinandergesetzt und dann auf die benutzten Instrumente näher eingegangen werden.

Prinzip der Methode.

Zur Messung der Längen werden Interferenzen benutzt, welche zwischen zwei Lichtbündeln auftreten, die nach Reflexion an zwei verschiedenen ebenen Spiegeln zur Interferenz gelangen. Diese Interferenzerscheinungen erlauben, den Abstand zwischen den beiden Spiegeln in Wellenlängen auszudrücken.

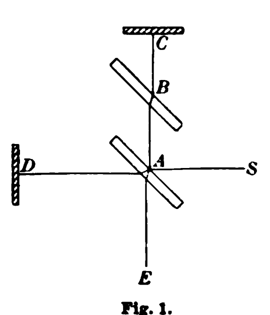


Fig. 1.

Eine Lichtquelle S (Fig. 1) sendet ein Lichtbüschel aus, welches auf eine Glasplatte A fällt, die auf ihrer Vorderseite sehr dünn versilbert ist. Es entstehen dann zwei Büschel, das eine, wir wollen es das erste nennen, durch Reflexion, das andere, zweite, durch Brechung. Indem man der Silberschicht eine passende Dicke giebt, kann man die beiden Büschel angenähert gleich stark machen.

Das erste Büschel fällt auf den Spiegel C, wird dort zum zweiten Male reflektirt, kommt nach A zurück, durchdringt diese Glasplatte und trifft bei E auf das Objektiv des Beobachtungsfernrohrs. Das zweite Büschel fällt auf den Spiegel D, wird hier zum ersten Male, dann an der Silberschicht der Glasplatte A zum zweiten Male reflektirt und vereinigt sich auf dem Wege $A\,E$ mit dem ersten Büschel.

Bei B wird in den Weg des ersten Büschels eine Glasplatte eingeschaltet, damit beide Büschel gleiche Wege im Glas zurücklegen. Wir wollen uns zunächst denken,

[1]) Die Hrn. Chappuis und Hamy fanden später, dass in unmittelbarer Nähe dieser grünen Linie andere von Michelson nicht beobachtete Linien auftreten können, welche unter gewissen Umständen die von Michelson benutzte Linie an Helligkeit übertreffen.

diese Platte B sei fest, stehe der Platte A parallel und sei wie diese ungefähr 45° gegen die Fernrohrachse geneigt. Konstruirt man nun das durch die Silberschicht bei A entworfene Bild des Spiegels D, so erhält man ein dem Spiegel C angenähert paralleles Spiegelbild, welches Michelson die *Referenzebene* nennt. Da die Platten A und B gleich dick sind, so können wir uns das zweite Büschel durch ein fingirtes Büschel ersetzt denken, welches genau denselben Weg zurücklegt wie das erste, mit dem einzigen Unterschied, dass es, statt an dem Spiegel C, an der Referenzebene reflektirt wird. Die Wegdifferenzen zwischen dem ersten und zweiten Büschel rühren also lediglich daher[1]), dass die Referenzebene und die Ebene C nicht zusammenfallen. Das eine Büschel hat einen etwas längeren Weg in Luft zurückzulegen als das andere.

Michelson untersucht theoretisch, unter welchen Bedingungen zwei derartige Büschel deutlich sichtbare Interferenzen erzeugen. Er findet, dass, wenn die in das Fernrohr eintretenden Büschel unbegrenzt wären, Interferenzen nur auftreten könnten, wenn entweder Referenzebene und Ebene C genau parallel wären oder wenn sie den Abstand Null hätten. Sind die Büschel begrenzt — in der Praxis ist das immer der Fall — so darf im ersten Fall der Winkel zwischen den zwei Spiegeln (Referenzebene und Ebene C) nicht grösser sein als das Auflösungsvermögen des Fernrohrs, im zweiten Fall darf ihr Abstand einige hundert Wellenlängen nicht übersteigen, falls die Interferenzen deutlich sichtbar bleiben sollen.

Für den Beweis dieser Sätze müssen wir auf die Originalabhandlung verweisen (*a. a. O. S. 115*). Wir wollen aber doch die beiden von Michelson benutzten Interferenzerscheinungen hier etwas näher betrachten. Ihr Verständniss ist für das Folgende unentbehrlich.

Erster Fall. Die Spiegel sind parallel. Ringförmige Fransen. — Michelson zeigt, dass in diesem Fall die Interferenzerscheinung im Unendlichen liegt. Wir wollen annehmen, das Fernrohr sei auf Unendlich eingestellt und die Lichtquelle liege im Unendlichen, wie dies bei Michelson's Versuchen der Fall war.

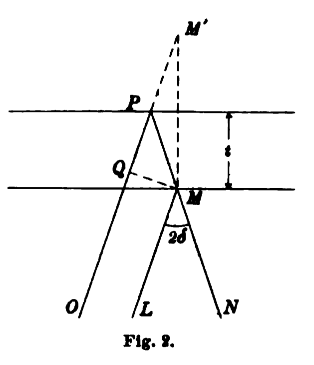


Fig. 2.

Mit irgend einem an dem vorderen Spiegel (es kann die Referenzebene oder der Spiegel C sein) reflektirten Strahl LMN (Fig. 2) werden sich dann alle Strahlen in der Brennebene des Fernrohrs zu einem Bildpunkte vereinigen, welche diesem Strahle parallel laufen, nachdem sie an dem vorderen oder hinteren Spiegel reflektirt worden sind. Wir können nun diese Strahlen paarweise zusammenfassen, indem wir jedem Strahl LMN, welcher an der vorderen Fläche reflektirt worden ist, *den* Strahl OPN zuordnen, welcher, von demselben Lichtpunkte ausgehend, nach Reflexion an dem hinteren Spiegel mit dem Strahl MN zusammenfällt. Wir tragen $PM' = PM$ auf der Verlängerung von OP ab und fällen von M das Perpendikel MQ auf OP. Q und M liegen auf einer und derselben Wellenfläche des einfallenden Lichts. Die Wegdifferenz der beiden in MN zusammenfallenden Strahlen beträgt also

[1]) Von einem Phasenunterschied von einer halben Wellenlänge, welcher daher rührt, dass das erste Büschel bei A an einem optisch dichteren, das zweite aber an derselben Stelle an einem optisch dünneren Medium reflektirt wird, sehen wir einstweilen ab. Wenn die Silberschicht hinreichend dick wäre, würde dieser Phasenunterschied wegfallen. Bei Michelson's Versuchen war er indessen noch vorhanden.

$$QP + PM = QP + PM' = QM' = 2t \cos \delta,$$

wenn wir mit t den Abstand der beiden Spiegel und mit δ den Einfallswinkel der Strahlen bezeichnen.

Sind die Spiegel genau parallel, so weisen alle mit dem in MN vereinigten Strahlenpaar parallelen Strahlenpaare dieselbe Wegdifferenz auf, verstärken oder schwächen sich also alle gleichzeitig. Bei gegebenem Plattenabstand hängt die Wegdifferenz $2t \cos \delta$ nur von δ ab. Beobachten wir also die Erscheinung mit einem auf Unendlich eingestellten Fernrohr, dessen Achse auf den Spiegeln senkrecht steht, so haben alle Strahlen, welche gleiche Winkel mit der Fernrohrachse bilden, gleiches δ, somit auch gleiche Wegdifferenzen. Mit wechselndem δ ändern sich die Wegdifferenzen, und wir erblicken daher im Fernrohr ein System kreisförmiger Interferenzfransen, deren Zentrum auf der Fernrohrachse liegt.

Gehen wir vom Zentrum der Ringe, für welches δ gleich Null ist, nach aussen, so nimmt die Wegdifferenz $2t \cos \delta$ ab und zwar um die Wellenlänge λ, wenn wir von einem dunkelen Ring zum nächstfolgenden übergehen. Nähern wir einen der Spiegel dem anderen, so nimmt die Wegdifferenz in jedem Punkte ebenfalls ab. Die Wegdifferenz, welche vorher an einem weiter nach aussen gelegenen Punkte vorhanden war, rückt nach innen: Die Ringe ziehen sich zusammen und verschwinden gleichsam im Zentrum. Jedesmal, wenn ein Ring (Abstand zweier dunkeler Streifen) im Zentrum verschwunden ist, hat die Wegdifferenz daselbst um λ abgenommen. Da nun im Zentrum die Wegdifferenz gleich dem doppelten Spiegelabstand ist, so nimmt gleichzeitig dieser Abstand selbst um $\lambda/2$ ab. Es genügt also, die im Zentrum verschwindenden Ringe zu zählen, um die Verschiebung des Spiegels in halben Wellenlängen ausgedrückt zu erhalten.

δ ist die Hälfte des Winkels, unter welchem der Durchmesser eines Ringes am Orte des Fernrohrobjektivs gesehen wird. Wie schon oben erwähnt, nimmt die Wegdifferenz $2t \cos \delta$ zwischen zwei auf einander folgenden Ringen um λ ab. Je kleiner t ist, um so grössere Unterschiede von δ sind nöthig, um diese Wegdifferenz zu erzeugen. Die Ringe liegen also um so weiter aus einander, je näher die Spiegel einander rücken. Wird der Abstand der Spiegel gleich Null, so wird der Abstand der Ringe unendlich gross, d. h. die Ringe verschwinden. In diesem Falle tritt dann aber gerade die zweite der oben erwähnten Interferenzerscheinungen auf, freilich nur unter der Voraussetzung, dass die Spiegel einander nicht genau parallel sind.

Ehe wir auf diesen Fall übergehen, müssen wir noch darauf aufmerksam machen, dass die eben behandelte Erscheinung der grossen in Betracht kommenden Wegdifferenzen wegen — Michelson hat Wegdifferenzen von über 25 *cm* hergestellt — nur in monochromatischem Lichte sichtbar ist.

Zweiter Fall. Der Abstand der Spiegel ist klein und die Ebenen der Spiegel bilden einen kleinen Winkel mit einander. Geradlinige Fransen. — Es ist wohl nicht nöthig, auf diesen den im reflektirten Lichte erscheinenden Newton'schen Ringen ganz analogen Fall hier näher einzugehen. Die Kurven, welche gleichen Dicken entsprechen und bei weisser Beleuchtung gleiche Farben zeigen, sind der Schnittlinie der beiden Spiegel parallel. Es möge nur hervorgehoben werden, dass, während bei den Newton'schen Ringen nur eine mehr oder minder vollkommene Berührung der reflektirenden Flächen möglich ist, unsere Spiegel sich gegenseitig durchdringen können, weil die Referenzebene nur ein virtuelles Bild, kein wirklicher Spiegel ist.

Auf beiden Seiten der Schnittlinie nehmen die Abstände der Spiegel gleichmässig zu. Man sieht daher in weissem Licht eine zur Schnittlinie symmetrisch ver-

theilte Interferenzerscheinung. Die auf der Schnittlinie selbst liegende mittlere Franse ist farblos und zwar — aus demselben Grunde wie bei den im reflektirten Licht betrachteten Newton'schen Ringen (nämlich wegen der oben erwähnten Phasendifferenz $\lambda/2$) — schwarz, wenn die Platte A (Fig. 1) nicht oder, wie das bei Michelson der Fall war, schwach versilbert ist. Bei stärkerem Silberbelag wird sie weiss. In beiden Fällen aber ist sie immer dadurch sicher zu erkennen, dass die Farben symmetrisch um sie vertheilt sind. Die zentrale bei Michelson schwarze Franse charakterisirt den Abstand Null mit der grössten Schärfe.

Der Kompensator. Wir haben oben angenommen, die Platte B (Fig. 1) stehe fest. Im Michelson'schen Apparat kann sie gedreht werden. Auf das zweite Büschel hat selbstverständlich diese Bewegung gar keinen Einfluss, denn dieses Büschel geht in Wirklichkeit gar nicht durch B hindurch. Die Stellung der Referenzebene wird also durch die Drehung der Platte nicht verändert. Die Wirkung dieser Bewegung macht sich ausschliesslich beim ersten Büschel geltend. Nimmt z. B. die Neigung der Platte B gegen den Lichtstrahl ab, so wird der im Glase zurückzulegende Weg dieses Büschels kürzer, seine optische Weglänge nimmt also ab. Durch einen bei der Beschreibung der Apparate zu erörternden Kunstgriff ist es Michelson gelungen, eine ganz ungemein feine, auf einem Theilkreise in willkürlichem Maasse messbare Drehungsbewegung für die Platte B zu erhalten. Ist nun die Kompensatorkonstante τ, d. h. die Zahl der Kreisintervalle bestimmt worden, welche die Interferenzerscheinung um die Breite einer Franse verschiebt, so können wir umgekehrt aus den Ablesungen des Theilkreises die Fransenverschiebungen und die ihnen entsprechenden Wegdifferenzen berechnen. Einer Drehung des Kreises um a Intervalle entspricht eine Phasenverschiebung von a/τ Fransen, welche ihrerseits einer Verschiebung des Spiegels um a/τ halbe Wellenlängen gleichkommt.

Wie wir später sehen werden, dienen zur Bewegung der Spiegel, welche die Interferenzen erzeugen, über ein Meter lange Schrauben. Mit einem derartigen Mechanismus kann man Bewegungen von der Ordnung einer hundertstel Wellenlänge weder herstellen noch messen. Nun beruht aber Michelson's ganze Methode gerade auf der genauen Messung der Fransenbruchtheile. Die Messung wird durch den Kompensator ermöglicht, welcher Wegdifferenzen von einigen hundertstel Wellenlängen auszuwerthen gestattet. An und für sich würde der Kompensator sogar noch weiter zu gehen erlauben: Die Kompensatorkonstante ist für rothes Kadmiumlicht gleich 146; aber das Auge kann einen bestimmten Ort der Franse, etwa das Dunkelheitsmaximum, nicht genauer einstellen.

Die optischen Maassstäbe.

Die eben beschriebenen Interferenzerscheinungen und der Kompensator dienen dazu, die Abstände zweier paralleler Spiegel in Wellenlängen auszudrücken. Der Apparat, welcher die beiden Spiegel trägt, heisst bei Michelson „*étalon*"; wir werden im Deutschen, nach dem Vorgange Kayser's, einfach das Wort Maassstab für denselben brauchen. Der einzige gewöhnliche Strichmaassstab, welcher zu erwähnen sein wird, wird zum Unterschied Meterstab genannt werden. Die genauere Beschreibung der Maassstäbe wird später gegeben werden (Fig. 11, *S. 307*). Einstweilen möge es genügen, zu sagen, dass jeder Maassstab zwei nach derselben Seite hin gekehrte parallele Spiegel A und A' trägt, deren Abstand die Länge des Maassstabs darstellt. Der eine Spiegel A' liegt höher als der andere A, sodass der eine nach dem anderen beobachtet werden kann. Michelson hat neun solcher Maassstäbe anfertigen lassen,

welche er mit den römischen Zahlen I, II, ... IX bezeichnet. Die Längen der Maassstäbe sind ziemlich genau $2^{-8} \times 10\,cm$; $2^{-7} \times 10\,cm$; ....; $10\,cm$. Jeder folgende ist also doppelt so lang wie der vorhergehende. Zunächst handelt es sich nun darum, die Länge des ersten, etwa 0,39 *mm* langen Maassstabes in Wellenlängen auszudrücken.

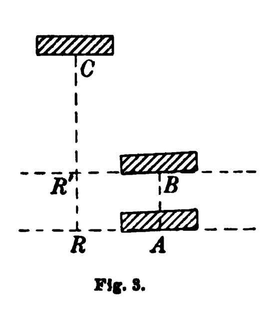


Fig. 3.

Bestimmung der Länge des ersten Maassstabes. Die Referenzebene (oder genauer gesagt, der Spiegel, deren Bild sie ist), steht auf einem Schlitten, welcher sie parallel zu sich selbst zu verschieben gestattet. R und R' (Fig. 3) deuten zwei aufeinander folgende Stellungen der Referenzebene an, welche beide zu einem festen Spiegel C parallel sind. Dieser feste Spiegel, es kann z. B. einer der Spiegel des Maassstabs II sein, wird in einer solchen Entfernung aufgestellt, dass zwischen ihm und der Referenzebene ringförmige Fransen von bequem zählbarer Breite entstehen.

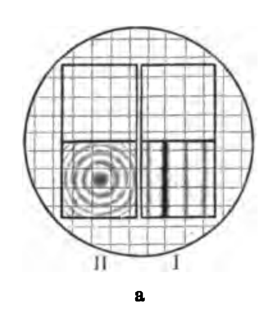
A und B sind die beiden Spiegel des Maassstabs I, die einen sehr kleinen — in der Figur stark übertriebenen — Winkel mit der Referenzebene einschliessen, sodass gerade Fransen zwischen ihnen und der Referenzebene entstehen, wenn die Abstände hinreichend klein werden. Die Spiegel A und B werden so orientirt, dass die Fransen zu Vertikallinien, welche auf der Referenzebene eingerissen sind, parallel laufen. Die Referenzebene ist so gross, dass sie gleichzeitig die drei Spiegel A, B und C überlagert.

Das Prinzip der Messung besteht nun einfach darin, dass auf der rechten Seite im weissen Licht mit Hülfe der zentralen geraden Franse ein Vertikalstrich der Referenzebene zuerst mit der Ebene A, dann mit der Ebene B zur Deckung gebracht wird, während auf der linken Seite vor dem Spiegel C bei Beleuchtung mit rothem Kadmiumlicht die im Zentrum der Ringe verschwindenden Fransen gezählt werden. Verschwinden N Fransen beim Uebergang aus der ersten in die zweite Stellung, so beträgt — bei hinreichend kleiner Neigung der Flächen A und B gegen die Referenzebene — der Abstand der Spiegel A und B N halbe Wellenlängen des rothen Kadmiumlichtes.

Praktisch wird die Sache etwas komplizirter. Michelson beschreibt die nöthigen Operationen etwa folgendermaassen:

Man bringt die Referenzebene angenähert zur Deckung mit der Ebene A. Nachdem man dann den Apparat einige Zeit sich selbst überlassen hat, um einen definitiven Gleichgewichtszustand zu erreichen, führt man mit Hülfe des Kompensators, der allein eine hinreichend feine Bewegung giebt, die schwarze zentrale Franse rechts auf den gewählten Strich der Referenzebene. Das Aussehen der drei Spiegel ist dann das in Fig. 4a dargestellte (der obere Spiegel links kommt bei dieser ganzen Messung gar nicht in Betracht). Man liest nun die Stellung a des Kompensators ab, stellt dann auf dem Spiegel des Maassstabs II links unten immer mit Hülfe des Kompensators (dessen Glasplatte, wie die Referenzebene, die vier Quadranten der Fig. 4 überdeckt) bei Beleuchtung mit rothem Kadmiumlicht die Phase Null her, d. h. man bringt einen gleichförmigen schwarzen Fleck in das Zentrum der Ringe, und liest die neue Stellung b des Kompensators ab. Nun dreht man die Schraube, welche den Schlitten der Referenzebene trägt, langsam und stetig vorwärts und zählt dabei die Fransen, welche links im Zentrum der Ringe verschwinden. Hat man so die Distanz, welche die beiden Flächen des Maassstabs I trennt, bis auf einige Wellenlängen durchlaufen, so erscheinen rechts oben im weissen Licht zwischen Referenz-

ebene und hinterem Spiegel des Maassstabs I die geraden Fransen. Man fährt mit der Bewegung der Referenzebene fort, bis die schwarze Franse beinahe mit dem gewählten Strich der Referenzebene zusammenfällt, richtet dann die Referenzebene wieder genau parallel zur Ebene C (bei der Bewegung konnte der Parallelismus nicht absolut genau erhalten bleiben), stellt mit dem Kompensator links unten die Phase Null her und notirt die Zahl N der Fransen, die während all dieser Operationen im Zentrum verschwunden sind. Gleichzeitig wird die Stellung b_1 des Kompensators aufgeschrieben. Endlich bringt man, wieder mit dem Kompensator, die schwarze Franse rechts oben auf den Strich der Referenzebene (Fig. 4b) und merkt sich auch diese neue Stellung a_1 des Kompensators. Die Zahl der halben Wellenlängen des rothen Kadmiumlichtes, welche in der Länge des Maassstabs enthalten sind, beträgt dann[1])



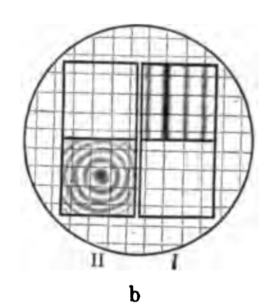


Fig. 4.

$$N + \frac{b - a + a_1 - b_1}{\tau},$$

wenn man mit τ wie früher die Kompensatorkonstante für rothes Kadmiumlicht bezeichnet.

Die Messungen von Michelson und Benoît ergaben für den ersten Maassstab im Mittel aus vier Zählungen den Werth 1212,31.

Bestimmung der Fransenüberschüsse. Bezeichnet n die im Allgemeinen gebrochene Zahl halber Wellenlängen, welche in irgend einer Strecke enthalten sind, so wird als Fransenüberschuss der Ueberschuss der Zahl n über die nächst kleinere ganze Zahl bezeichnet. Es ist möglich, diese Fransenüberschüsse für alle neun Maassstäbe mit grosser Genauigkeit zu bestimmen. Man bringt zu dem Ende die Referenzebene vor die beiden Spiegel des Maassstabs (für die grösseren Maassstäbe muss man sie zwischen die beiden Spiegel stellen) und richtet sie genau parallel zu denselben (wenn die Spiegel nicht absolut parallel sind, *so*, dass sie den von ihnen gebildeten Winkel halbirt); dann erhält man in monochromatischem Licht zwei Systeme ringförmiger Fransen: das eine zwischen der Referenzebene und dem oberen Spiegel, das andere zwischen derselben Ebene und dem unteren Spiegel des Maassstabs. Man beleuchtet nach einander mit den vier Kadmiumstrahlungen und stellt für jede derselben mit Hülfe des Kompensators die Phase Null her (Intensitätsminimum im Zentrum der Ringe). Man notirt die zugehörigen Ablesungen des Kompensators und wiederholt die Operation für das untere Fransensystem. Würde man beispielsweise für das rothe Licht oben und unten dieselbe Ablesung erhalten, so wäre genau eine ganze Zahl halber Wellen-

[1]) Hierbei ist angenommen, dass τ im Zentrum der Ringe und am Orte der geraden Fransen denselben Werth hat, dass also die Kompensatorplatte überall gleiche Dicke hat und nur gedreht, nicht verbogen wird. Michelson schreibt, statt der im Text gegebenen Formel, $N + \frac{1}{\tau_r}(b - b_1) - \frac{1}{\tau_b}(a - a_1)$, wo τ_r die Kompensatorkonstante für das rothe, τ_b dieselbe Grösse für weisses Licht bedeuten soll. Diese Formel scheint mir nicht richtig. Da aber beide Ausdrücke beinahe denselben Werth geben und die Fransenbruchtheile — nur diese werden durch die Aenderung berührt — ganz unabhängig von dieser ersten Messung durch ein gleich näher zu erörterndes Verfahren festgestellt wurden, so will ich hier nicht näher auf die Sache eingehen.

längen zwischen den beiden Spiegeln vorhanden. Im Allgemeinen werden die Ablesungen differiren. Die Differenz durch die Kompensatorkonstante für rothes Licht dividirt giebt den Fransenüberschuss für diese Farbe. Da die Fransenüberschüsse unmittelbar hinter einander bestimmt werden, ohne im Innern des Apparates irgend etwas zu verändern, so kann man mit Sicherheit annehmen, dass die vier gefundenen Werthe der Fransenüberschüsse ein und derselben Länge angehören. Für den ersten Maassstab fanden die beiden Beobachter Michelson und Benoît die in der zweiten und dritten Spalte der folgenden Tabelle enthaltenen Werthe der Fransenüberschüsse.

	Wellenlänge in μ	Michelson	Benoit	berechnet		
	1	2	3	4	5	6
roth . . .	0,64389	0,37	0,34	1212,35	1211,35	1213,35
grün . . .	0,50863	0,79	0,79	1534,75	1533,48	1536,02
blau . . .	0,48000	0,18	0,16	1626,29	1624,95	1627,63
violett . .	0,46789	0,54	0,52	1668,38	1667,01	1669,76

Die ganze Zahl halber Wellenlängen wurde nur für das rothe Licht gezählt; sie betrug für dasselbe nach dem Vorigen 1212. Addiren wir zu dieser Zahl das Mittel der beobachteten Ueberschüsse, 0,35, so erhalten wir für das rothe Licht als Zahl der halben Wellenlängen 1212,35. Nun waren aber mit einem Rowland'schen Gitter die Wellenlängen der vier Kadmiumstrahlungen gemessen worden. Die erste Spalte der Tabelle giebt die erhaltenen Werthe. Aus denselben lassen sich mit Hülfe der für das rothe Licht erhaltenen Zahl 1212,35 die für die übrigen Strahlungen gültigen Werthe berechnen. Die vierte Spalte giebt die so gefundenen Zahlen, deren Bruchtheile mit den beobachteten Bruchtheilen der zweiten und dritten Spalte übereinstimmen sollen. Wie man sieht, sind die Differenzen sehr klein (sie können noch kleiner gemacht werden, wenn man nur die relativen Werthe berücksichtigt); sie sind in der That so klein, dass die beobachteten Fransenüberschüsse nicht nur zur Bestimmung der Bruchtheile, sondern auch zur Kontrole der Ganzen benutzt werden können. Wenn man nämlich annehmen wollte, man habe sich bei der Ermittlung der Ganzen verzählt und nicht 1212,35, sondern 1211,35 oder 1213,35 sei die Anzahl der halben rothen Wellenlängen, so würde man auf Grund dieser Zahlen die in Spalte 5 und 6 aufgeführten Werthe erhalten. Die so berechneten Fransenüberschüsse stimmen aber mit den beobachteten durchaus nicht mehr: 1211 und 1213 sind daher falsch und 1212 ist sicher richtig.

Man kann, sagt Michelson, die Wichtigkeit und den grossen Werth dieser Kontrole nicht hoch genug anschlagen, denn bei jedem Schritt der Arbeit findet man sie wieder. Sie ist auf alle Maassstäbe bis zum neunten anwendbar. Ihre Sicherheit ist so gross, dass sie sogar dazu dienen kann, direkt, ohne Zählung, die Ganzen zu finden. Die Vergleichung der Maassstäbe unter sich (oder hier die erste Zählung) kann man gewissermaassen als Hülfsmessung betrachten, welche die Wahl der ganzen Zahl, die allein im Stande ist, die berechneten und beobachteten Fransenüberschüsse in Uebereinstimmung zu bringen, erleichtern soll.

Vergleichung der Maassstäbe.

Die Fig. 5 und 6 lassen unmittelbar erkennen, wie der Maassstab I mit dem doppelt so langen Maassstab II verglichen wird. Bei diesen Maassstabvergleichungen werden immer nur die geraden Fransen benutzt. Man richtet beide Maassstäbe so,

dass ihre Spiegel einen kleinen Winkel mit der Referenzebene einschliessen. Auf der Referenzebene befinden sich, wie schon oben gesagt wurde, eine Reihe vertikaler und horizontaler Striche (die Horizontalstriche dienen zu einer hier nicht erwähnten Kontrole). Durch passende Neigung der Spiegel erreicht man, dass die dunkeln Streifen der Interferenzerscheinung genau so weit von einander abstehen, wie die Vertikalstriche der Referenzebene, und sich mit denselben decken. Man führt dann folgende Operationen aus:

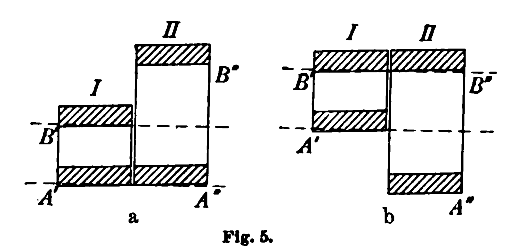


Fig. 5.

1. Die beiden Vorderebenen der Maassstäbe werden so gestellt, dass sie mit der Referenzebene zusammenfallen (Fig. 5a) oder, genauer gesagt, so, dass die schwarzen Fransen auf zwei unmittelbar benachbarte Striche der Referenzebene zu liegen kommen (Fig. 6a).

2. Die Referenzebene wird um die Länge des kürzeren Maassstabes nach hinten geschoben, sodass sie mit der Ebene B' (Fig. 5a) des Maassstabs I zusammenfällt und die Erscheinung der Fig. 6b erhalten wird.

3. Der Maassstab I wird um seine eigene Länge nach hinten geschoben (Fig. 5b), sodass seine Vorderebene wieder in die Referenzebene fällt und das Bild der Fig. 6c zum Vorschein kommt.

4. Die Referenzebene wird noch einmal um die Länge des kleinen Maassstabes nach hinten geschoben, bis sie mit der hinteren Ebene B' des ersten Maassstabs (Fig. 5b) zusammenfällt.

Wenn nun der Maassstab II genau doppelt so lang wäre, wie der Maassstab I, so würde die Referenzebene nun auch mit dem hinteren Spiegel des Maassstabes II

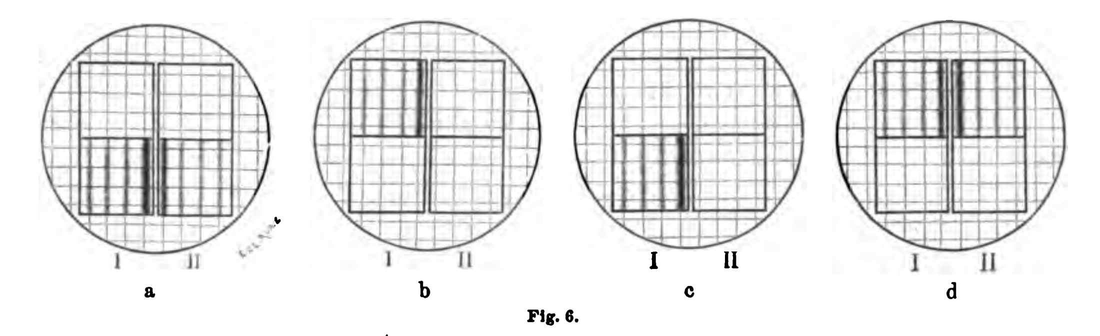


Fig. 6.

zusammenfallen, und wir hätten die Erscheinung der Fig. 6d. In Wirklichkeit wird dies aber nur angenähert der Fall sein. Durch den Kompensator wird die vorhandene Differenz bestimmt. Uebrigens wurden auch die durch die Fig. 6a, b und c charakterisirten Stellungen mit Hülfe des Kompensators hergestellt und entsprechende Korrektionen am Schlusswerth angebracht.

Eine Reihe derartiger Vergleiche der Maassstäbe I und II ergab

$$\mathrm{II} = 2\,\mathrm{I} + 1{,}30\,\frac{\lambda}{2},$$

wobei unter λ die Wellenlänge des Natriumlichtes verstanden ist; es wurden nämlich die Phasenunterschiede, sobald sie einigermaassen gross waren, mit Hülfe des Natriumlichtes gemessen. Bei kleinen Differenzen gaben Natriumlicht und weisses Licht dieselben Werthe.

Setzt man nun für den Maassstab I die oben gefundenen Werthe ein und führt statt 1,30 $\lambda/2$ die der gleichen Länge entsprechenden Werthe für die vier Kadmiumstrahlungen ein, so erhält man für die im Maassstab II enthaltenen halben Wellenlängen die Zahlen

2425,93 3071,09 3253,96 3338,72.

Bei diesen Werthen bleibt aber Michelson nicht stehen, sondern es werden nun mit der grössten Sorgfalt, wie wir dies bei dem Maassstab I beschrieben haben, die Fransenüberschüsse direkt für den Maassstab II bestimmt, und mit Hülfe dieser beobachteten Fransenüberschüsse werden die obigen Zahlen korrigirt. Um Wiederholungen zu vermeiden, gehen wir hierauf nicht näher ein, sondern heben nur noch einmal hervor, dass durch diese direkte Bestimmung der Fransenüberschüsse *die Länge des zweiten Maassstabes ganz unabhängig von der des ersten* bis auf einige hundertstel Wellenlängen bestimmt wird. Bei der Messung des Maassstabes I gemachte Fehler werden also nicht auf Maassstab II übertragen.

In ganz gleicher Weise geht man vom zweiten zum dritten u. s. w. und endlich zum neunten Maassstab über. Bei diesem 10 *cm* langen Maassstab muss man stehen bleiben. Eine Verdoppelung seiner Länge würde Wegdifferenzen ergeben, für welche die Fransen nicht mehr hinreichend deutlich wären.

Die Bestimmung der Fransenüberschüsse für Maassstab IX ist die wichtigste und heikelste Messung der ganzen Arbeit. Bei den hier vorkommenden Wegdifferenzen von 10 *cm* sind die Fransen schon schmäler und weniger deutlich, als bei den kürzeren Maassstäben, namentlich für das blaue Licht (die Messungen mit dem violetten Licht mussten schon früher aufgegeben werden). Der Einfluss der Temperatur- und Druck-Aenderungen nimmt mit zunehmender Länge zu und wird beim Maassstab IX schon recht fühlbar, zumal es sich hier nicht mehr wie bisher um relative, sondern um absolute Messungen handelt. Temperatur und Druck wurden mit der grössten Sorgfalt gemessen. Da die Zahl der in der Länge des neunten Maassstabes enthaltenen halben Wellenlängen 400 000 beträgt, erzeugt eine Temperaturdifferenz von 0,01° schon eine Wegdifferenz von 0,05 Wellenlänge, eine wohl messbare Grösse. Die Temperaturmessungen mussten also bis auf 0,01° verbürgt werden können und die Temperaturänderungen mussten so langsam vor sich gehen, dass die abgelesenen Temperaturen den wirklichen bis auf 0,01° entsprachen.

Die Messung der Fransenüberschüsse wurde für den neunten Maassstab sehr oft wiederholt und zur Vermeidung systematischer Fehler wurden besondere Vorsichtsmaassregeln getroffen, die wir hier übergehen müssen. Drei von Michelson und Benoît durchgeführte Messungsreihen ergaben schliesslich für die drei beibehaltenen Farben roth, grün und blau die Zahl der im neunten Maassstab enthaltenen halben Wellenlängen gleich

Michelson	310 678,48	393 307,92	416 735,86
	310 678,65	393 308,10	416 736,07
Benoît	310 678,66	393 308,09	416 736,02.

Anschluss des neunten Maassstabes an das Meter.

Der Maassstab IX wurde mit einem Hülfsmeter X verglichen, welches aus gleichem Metall bestand wie er und seinerseits an ein Normalmeter angeschlossen wurde. Maassstab IX trug zu diesem Zweck auf einem besonderen Arm einen sehr feinen Strich s, der dem einen Endstrich des Meterstabs X so gegenüber gestellt wurde, dass beide gleichzeitig im Gesichtsfelde des Mikrometermikroskops sichtbar

waren. Nachdem der Abstand zwischen den beiden Strichen bestimmt worden war, wurde Maassstab IX mit Hülfe der Referenzebene (wie oben bei der Maassstabsvergleichung angegeben wurde) zehnmal um seine eigene Länge verschoben und dann in der zehnten Stellung der Abstand des Striches *s* von dem zweiten Endstrich des Meterstabs gemessen. Man erhielt so für die drei Messungsreihen

$$X = 10\,\mathrm{IX} + 27{,}38\,\mu \qquad X = 10\,\mathrm{IX} + 27{,}92\,\mu \qquad X = 10\,\mathrm{IX} + 27{,}37\,\mu.$$

Die bei der Messung des neunten Maassstabes gemachten Fehler werden hier mit 10 multiplizirt, deshalb musste auf die Bestimmung der Fransenüberschüsse des Maassstabs IX so grosses Gewicht gelegt werden. Setzt man nun in die vorigen Gleichungen für X seinen wahren, nach einer direkten Kopie des internationalen Prototyps von Guillaume bestimmten Werth und für IX die oben gegebenen Zahlen ein, so erhält man für die drei Messungsreihen die Werthe

$$\begin{aligned} 1\,m &= 1\,553\,162{,}7\ \lambda_{roth} \\ &= 1\,553\,164{,}3\ \ " \\ &= 1\,553\,163{,}6\ \ " \ , \end{aligned}$$

wo λ_{roth} die Wellenlänge des rothen Kadmiumlichtes bezeichnet. Die Zahlen gelten für 760 *mm* Quecksilberdruck und 15° C. der Skale des Quecksilberthermometers in französischem *verre dur* (14,93° der Normalskale).

Das Mittel der Reihen giebt für die drei benutzten Strahlungen

$$\begin{aligned} \mathbf{1\,m} &= \mathbf{1\,553\,163{,}5}\ \lambda_{roth} \\ &= \mathbf{1\,966\,249{,}7}\ \lambda_{grün} \\ &= \mathbf{2\,083\,372{,}1}\ \lambda_{blau} \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} \lambda_{roth} &= \mathbf{0{,}643\,847\,22}\ \mu \\ \lambda_{grün} &= \mathbf{0{,}508\,582\,40}\ " \\ \lambda_{blau} &= \mathbf{0{,}479\,991\,07}\ " . \end{aligned}$$

Endlich kann man noch für die violette, später aufgegebene Strahlung aus den ersten Messungen den folgenden Werth ableiten:

$$\lambda_{violett} = 0{,}467\,815\,2\ \mu .$$

Die Arbeit Michelson's, sagt Guillaume, hat zum ersten Male das Meter mit einer Genauigkeit, die man auf 1 μ schätzen kann, auf eine in der Natur vorhandene Grösse zurückgeführt, welche höchst wahrscheinlich unveränderlich ist. Eine Wiederholung der Messung unter verschiedenen Umständen wird zeigen, ob die wirklich erreichte Genauigkeit mit der aus dem Vergleich der drei Messungsreihen sich ergebenden übereinstimmt. Hierauf wird nach einer längeren Zeit, etwa nach einem halben Jahrhundert, eine neue Messung derselben Art erfolgen müssen, welche erst einen mehr oder weniger sicheren Rückschluss auf die Unveränderlichkeit der Platiniridiummaassstäbe gestatten wird.

Beschreibung der Apparate.

Wir beginnen mit dem Beleuchtungsapparat, welcher aus einem Spektralapparat und einem Apparat zur Parallelverschiebung des Lichtes besteht, geben dann die Beschreibung der Maassstäbe und des Kompensators und schliessen mit dem Refraktometer und Komparator.

Beleuchtungsapparat.

Spektralapparat. Die *Lichtquelle* für die Beleuchtung mit Kadmiumlicht ist die in Fig. 7 in etwa $^1/_4$ nat. Gr. dargestellte Kadmiumlampe. Die Elektroden unterhalb *c* und *d* bestehen aus Ringen von Aluminiumdraht von 2 *mm* Dicke. Der Durchmesser

der Ringe ist 8 *mm*, während der Querschnitt der Röhre *t*, durch welche die Entladung hindurchgeht, 2 bis 3 *mm* beträgt. Bei *g* werden in die Anfangs noch offene Röhre einige hundertstel Gramm Kadmium eingeführt. Dann wird mit einer Quecksilberluftpumpe das Vakuum hergestellt und die Röhre zugeschmolzen. Die Strahlung, die

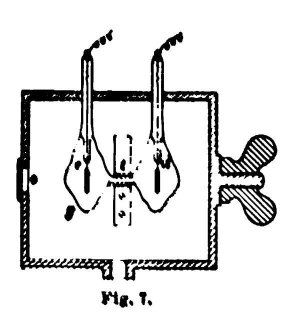


Fig. 7.

durch das Fenster *o* austritt, wird durch elektrische Entladungen erzeugt, während die Lampe durch einen Bunsenbrenner auf 200 bis 300 Grad erwärmt wird.

Der in Fig. 8 im Grundriss und in Fig. 9 in Ansicht dargestellte *Spektralapparat* dient zur Trennung der verschiedenen Kadmiumstrahlungen. Die erste Linse x_1 wirft das Bild der als Lichtquelle dienenden Röhre *t* der Lampe *Z* auf den Spalt t_1; Linse x_2 macht die Strahlen parallel; das Schwefelkohlenstoffprisma *W* von 60° zerlegt das Licht; Linse x_3 giebt ein reelles Spektrum auf dem Schirme t_2; ein Spalt in diesem Schirme lässt nur die gewünschte Strahlung durch; Linse x_4 macht die Strahlen wieder parallel und der Spiegel *w* wirft sie auf den gleich näher zu beschreibenden Verschiebungsapparat.

Um von einer Farbe zur andern überzugehen, bedient man sich des langen unterhalb des Prismas *W* (Fig. 9) befestigten Hebels, welcher die Lichtquelle und das Prisma um den nöthigen Winkel zu drehen gestattet.

Z_1 und Linse x_5 werden bei Beleuchtung mit weissem oder mit Natriumlicht verwendet.

Verschiebungsapparat. Der Ein- und Austritt des Lichtes in den eigentlichen Messapparat oder Komparator wird durch eine Vorrichtung vermittelt, welche das Licht-

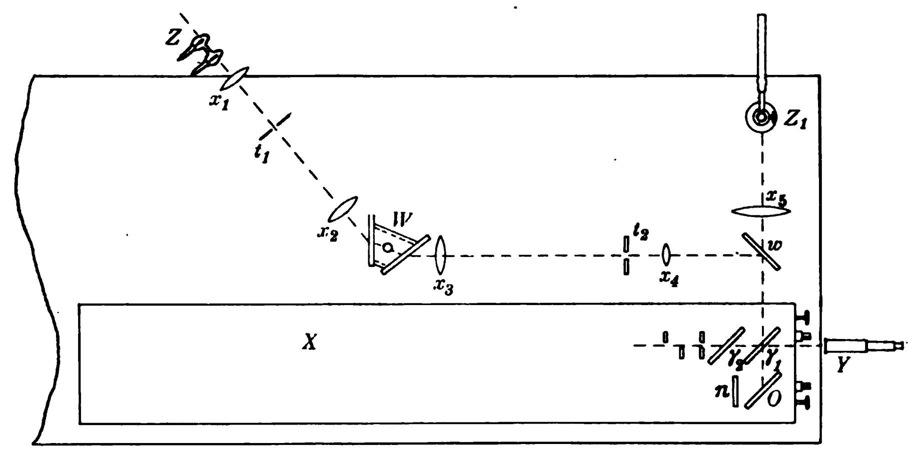


Fig. 8.

bündel im Innern des Apparates parallel zu sich selbst zu verschieben gestattet, während es ausserhalb desselben, vor und nach dem Durchgang durch den Komparator, seinen Ort nicht verändert. Dieser Apparat, welcher in Fig. 9 und in grösserem Maassstab in Fig. 10 dargestellt ist, besteht aus zwei Würfeln C_1 und C_2 aus Flintglas (welches bei gleichen Dimensionen eine grössere Verschiebung giebt als gewöhnliches Crownglas); jeder dieser Würfel lässt sich um zwei zu einander rechtwinklige Achsen drehen. Diese Würfel können als planparallele Glasplatten angesehen werden, die das Lichtbündel verschieben, ohne seine Richtung zu ändern. Die durch den Würfel C_1 hervorgebrachte Verschiebung des eintretenden Büschels würde natürlich eine gleich

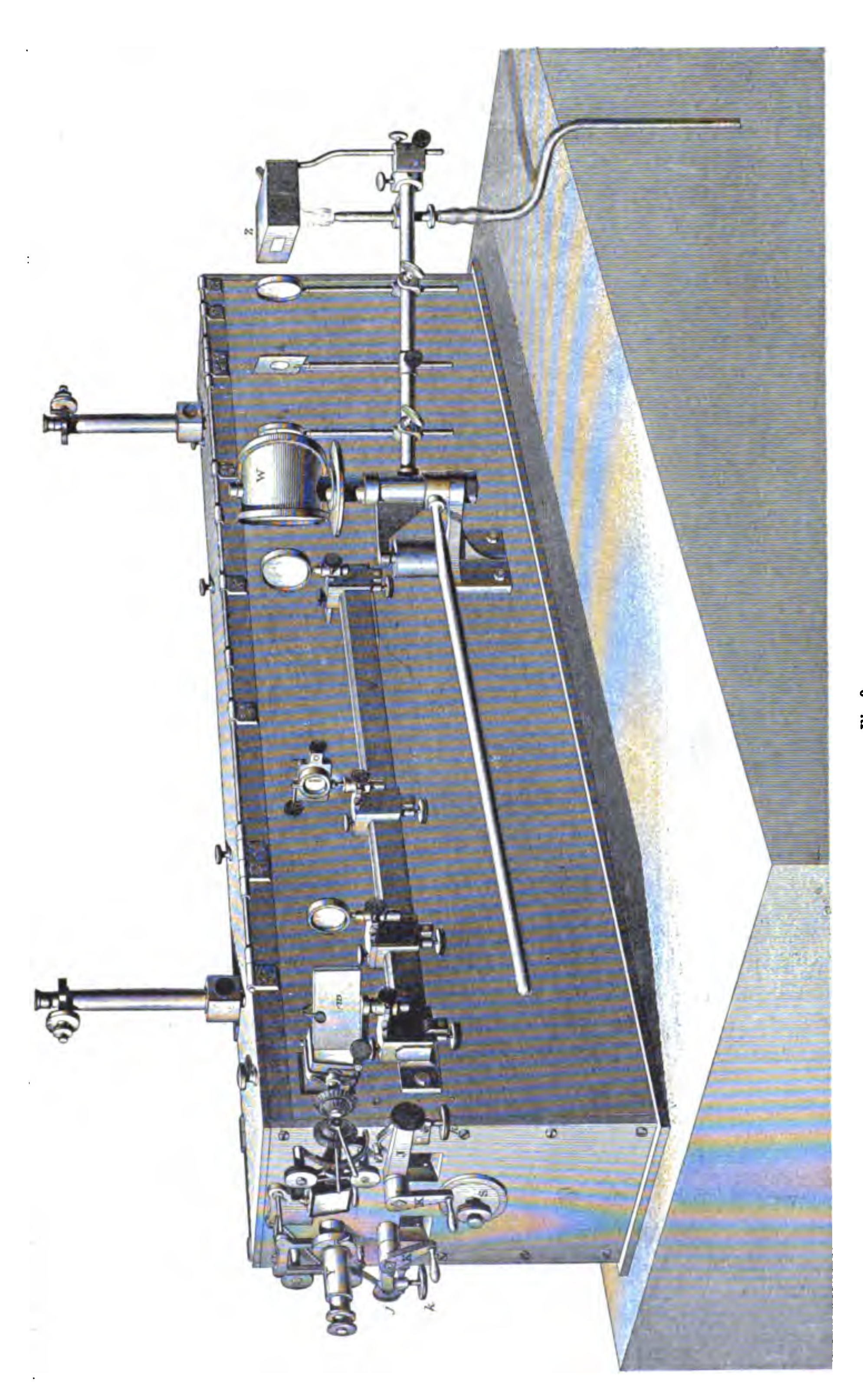


Fig. 9.

grosse Verschiebung des austretenden Büschels bedingen, wenn der Würfel C_2 nicht eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung des Büschels von gleicher Grösse hervorbrächte. Durch den aus der Fig. 10 ersichtlichen Mechanismus sind nämlich die beiden Würfel derart mit einander verbunden, dass sie jeweilig in Bezug auf die Lichtrichtung entgegengesetzt gerichtete Drehungen ausführen. Der Hebel l_1 bewegt direkt den Würfel C_2 um seine Horizontalachse und durch Vermittlung des Zahnrades z_1 den Würfel C_1; l_2 wirkt auf eine durch z_1 hindurchgehende Triebachse, welche mit Hülfe eines über die Rollen p_1, p_2, p_3 gehenden Schnurlaufs die Drehung des Würfels C_2 um die Vertikalachse besorgt. Die kleineren Zahnräder und drei ebenfalls mit p_1, p_2, p_3 bezeichnete Rollen übertragen diese Bewegung auf C_1.

Diese Vorrichtung gestattet die Lichtstrahlen auf die verschiedenen Interferenzfiguren, welche z. B. Fig. 6 darstellt, zu leiten, ohne am Beleuchtungsapparat und am Beobachtungsfernrohr das Geringste zu verändern.

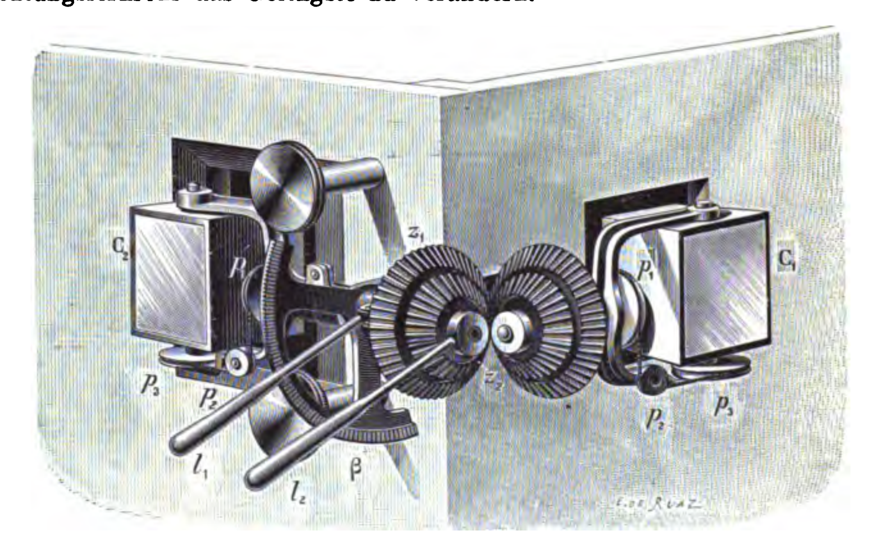


Fig. 10.

Maassstäbe.

Die Maassstäbe (Fig. 11a u. b) bestehen aus zwei Spiegeln A und A', welche durch ein Bronzegestell B mit einander verbunden sind. Diese Maassstäbe sind mit zwei Justirvorrichtungen versehen, deren eine den Zweck hat, die Spiegel A und A' parallel zu stellen und ihnen den vorgeschriebenen Abstand zu geben, während die andere den ganzen Maassstab nach zwei Richtungen hin zu drehen gestattet, um ihn einem anderen Maassstab oder der Referenzebene parallel zu stellen. Das Ganze steht auf einem Schlitten G_2 (vgl. Fig. 11b), welcher zur Longitudinalverschiebung auf den Schienen des Komparators dient.

Erste Justirvorrichtung. Auf der Vorderfläche des Bronzegestells sind drei kleine Stifte a, b, c angebracht, welche so abgerundet und polirt werden, dass die Ebene, welche sie berührt, auf der Längsrichtung des Maassstabs ungefähr senkrecht steht. Das hintere Ende des Maassstabes hat zwei Fortsätze C und C', welche ähnliche Stifte b' und c' tragen, während ein dritter Stift a' etwas weiter unten auf dem massiven Theil des Gestells sitzt. An den Fortsätzen C und C' sind zwei Stahlfedern $\varrho\,\varrho$ befestigt, auf deren abgewendete Enden Regulirschrauben v wirken. Auf die Stifte werden zwei planparallele, auf ihrer Vorderseite versilberte Glasplatten A und A' mittels Federn, die an ihrer Rückseite befestigt sind, angedrückt.

Zunächst wird nun die Entfernung der beiden Stifte *a* und *a'* durch Feilen auf die vorgeschriebene Länge gebracht. Aenderungen an den übrigen Stiften verändern diese Entfernung nur wenig. Diese Stifte *b*, *c* und *b'*, *c'* dienen zur Parallelstellung der Spiegel. Die schliessliche Justirung geschieht durch Verstellung der Regulirschrauben *s*. Diese Schrauben verändern die Spannung der Federn ϱ, welche ihrerseits die Fortsätze *C* und *C'* krümmen. Da die Fortsätze stark, die Federn relativ schwach sind, so erhält man so eine ausserordentlich feine Bewegung der hinteren Spiegelfläche, welche die letzten Richtungsunterschiede der Spiegel auszugleichen gestattet.

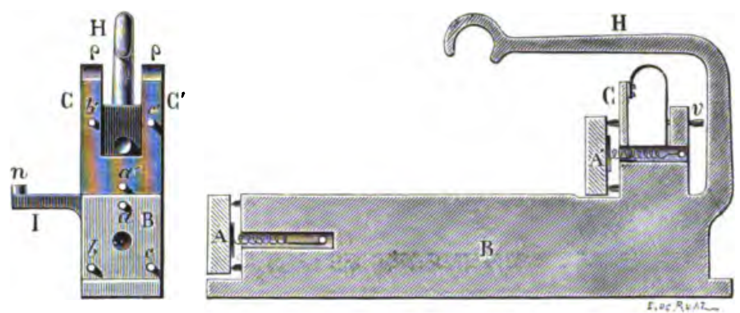


Fig. 11 a.

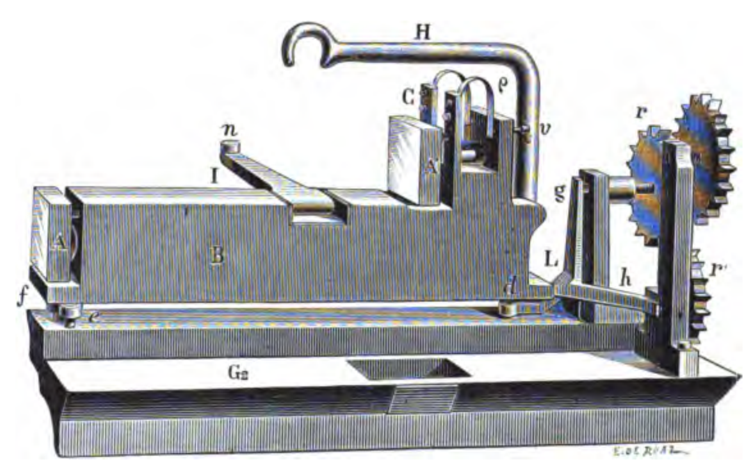


Fig. 11 b.

„Dieses Verfahren, eine gegebene Bewegung in einem enormen Verhältniss zu verkleinern", sagt Michelson, „scheint mir neu". „Ist es nicht neu, so hat es jedenfalls nicht die verdiente Beachtung gefunden. Man wird später sehen, dass dasselbe Prinzip auch für den Kompensator angewendet worden ist. In beiden Fällen wurde eine sehr schwache Stahlfeder dazu benutzt, einen Bronzestab zu krümmen (oder zu tordiren). Es wäre indessen besser gewesen, wenn Stab und Feder aus demselben Metalle bestanden hätten; der Einfluss der Temperaturänderungen wäre dann verschwunden."

Zweite Justirvorrichtung. Das Bronzegestell *B* ruht mittels Loch, Rinne und Ebene auf drei Schrauben *d*, *e*, *f*, welche auf dem Schlitten G_2 sitzen. Die Schraube *d* kann durch den dreiarmigen Hebel *L* in der Höhe und seitlich verstellt werden. Auf die Hebelarme *g* und *h* wirken nämlich Schrauben, die durch Zahnräder *r*, *r'* gedreht werden. In diese Zahnräder greifen kannelirte Triebachsen *p* (Fig. 12 u. 13), die mit Hülfe der

Knöpfe μ von dem vor dem Apparat sitzenden Beobachter bewegt werden. Bei der Konstruktion der Verzahnung ist je der zweite Zahn weggelassen worden. Hat der Maassstab die richtige Stellung erreicht, so kann, weil der Abstand der stehengebliebenen Zähne gross ist, durch Rückwärtsbewegung eine Stellung der Triebachse p erreicht werden, in welcher diese die Zähne gar nicht berührt, sodass der Maassstab, ohne dass irgend ein äusserer Zug oder Druck auf ihn wirkt, der alleinigen Wirkung seines eigenen Gewichts überlassen bleibt.

H (Fig. 11) dient als Handhabe. Der Arm I ist nur beim Maassstabe IX vorhanden, er trägt auf n den Strich, der zu seiner Vergleichung mit dem Meterstabe dient. Dieser Arm kann nach der anderen Seite hin umgelegt werden, wenn der Maassstab VIII zur Vergleichung mit dem Maassstab IX links neben denselben zu stehen kommt.

Auf die Beschreibung des Meterstabs X gehen wir hier nicht ein. Sein Querschnitt ist aus Fig. 13 ersichtlich. Dieser Stab ist in Fig. 12 und 13 mit M bezeichnet.

Kompensator.

Zur Drehung der Glasplatte γ_2 des Kompensators (im ersten Abschnitt ist dieselbe Platte nach Michelson mit B bezeichnet) dient folgende Einrichtung (Fig. 12). Auf der einen Seite ist die Fassung der Platte γ_2 mit einem 1 *cm* dicken Bronzestab o verbunden, der selbst seitlich am Komparatorgestell angeschraubt ist. Auf der anderen Seite der Fassung greift an i eine stählerne Spiralfeder an, welche durch eine Schnur mit einer Rolle in Verbindung steht. Diese wird mittels eines Knopfes um eine Achse gedreht, welche einen getheilten Kreis S trägt. Spannt man durch Drehung des Kreises die Spiralfeder, so wird der Stab o tordirt, was eine kleine Drehung der Glasplatte zur Folge hat. Die Winkelbewegung wird durch diese Einrichtung im Verhältniss von 1 : 100 000 verkleinert und lässt sich trotzdem genau messen.

Refraktometer.

Die Disposition des Refraktometers unterscheidet sich etwas von der in Fig. 1 angenommenen. Da Referenzebene und Maassstab IX bei der Vergleichung dieses Maassstabs mit dem Meterstab X beide einen Meter weit verschoben werden müssen, wäre es unbequem gewesen, wenn die Richtungen dieser Bewegungen, d. h. die Richtungen AC und AD, senkrecht aufeinander gestanden hätten. Michelson zog deshalb vor, die Richtung AD durch eine weitere Reflexion an einem Hülfsspiegel O zur Richtung AC parallel zu legen. Fig. 8 giebt diese Anordnung schematisch wieder. Da Michelson hier andere Buchstaben eingesetzt hat, sind in Klammer die früheren Bezeichnungen bei der Erklärung der Figur hinzugefügt. Der obere Theil der Zeichnung stellt den schon beschriebenen Beleuchtungsapparat dar. Vom Spiegel w fällt das Licht auf die Platte γ_1 (A), das erste (reflektirte) Büschel durchdringt den Kompensator γ_2 (B) und wird dann an einem der vier kleineren Spiegel reflektirt, welche in Fig. 8 links neben γ_2 stehen. Es sind dies die Spiegel der zu vergleichenden Maassstäbe, welche an die Stelle des Spiegels C der Fig. 1 treten. An einem dieser Spiegel reflektirt, kehrt das Licht auf demselben Wege nach γ_1 zurück, geht durch diese Platte hindurch und fällt in das Fernrohr Y.

Das zweite in γ_1 gebrochene Büschel wird zuerst an dem Hülfsspiegel O (unterhalb γ_1), dann an dem links von O stehenden Spiegel π (D) reflektirt, kehrt nach γ_1 zurück und wird von der Silberschicht dieser Platte wie das erste Büschel in das Fernrohr Y gesendet.

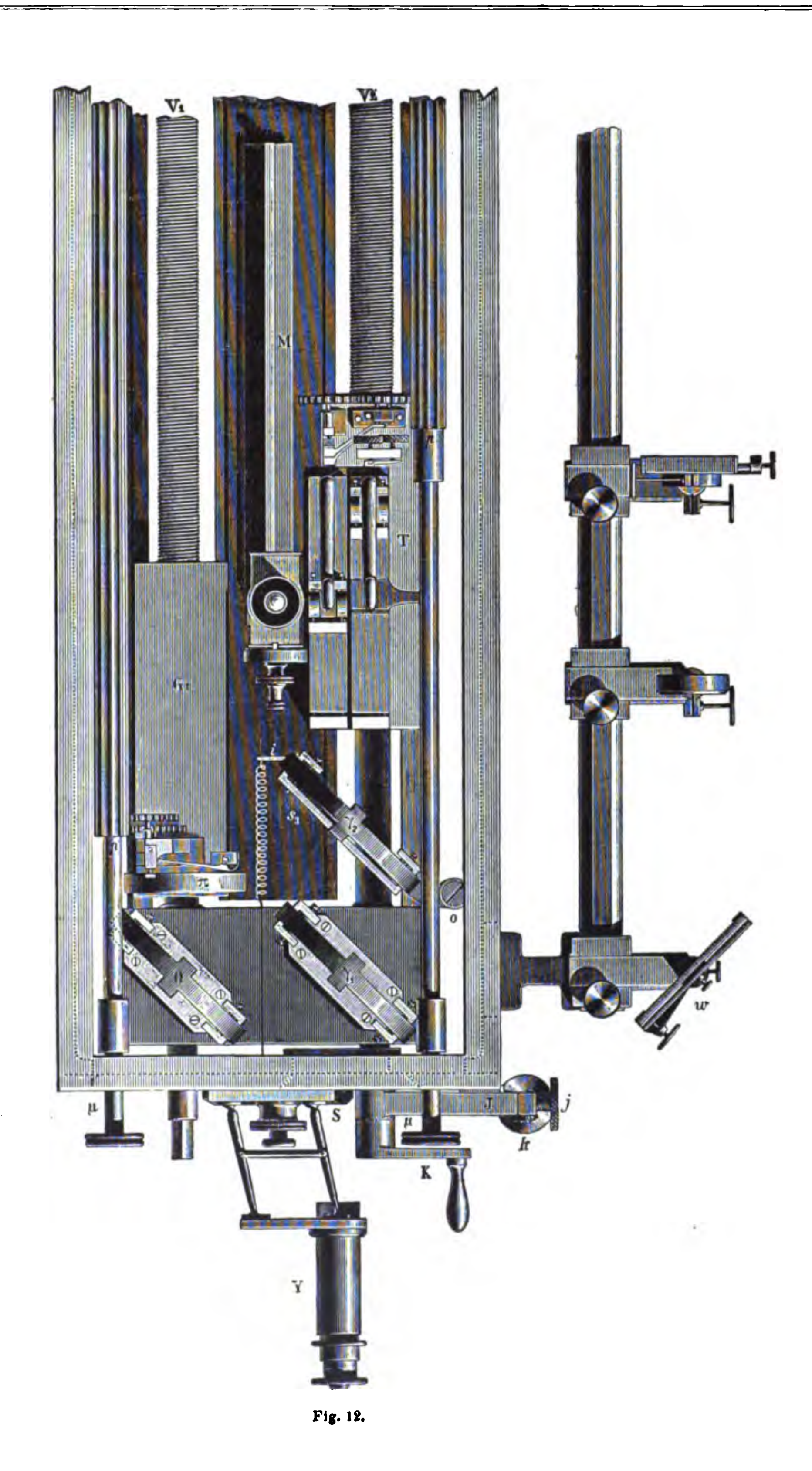


Fig. 12.

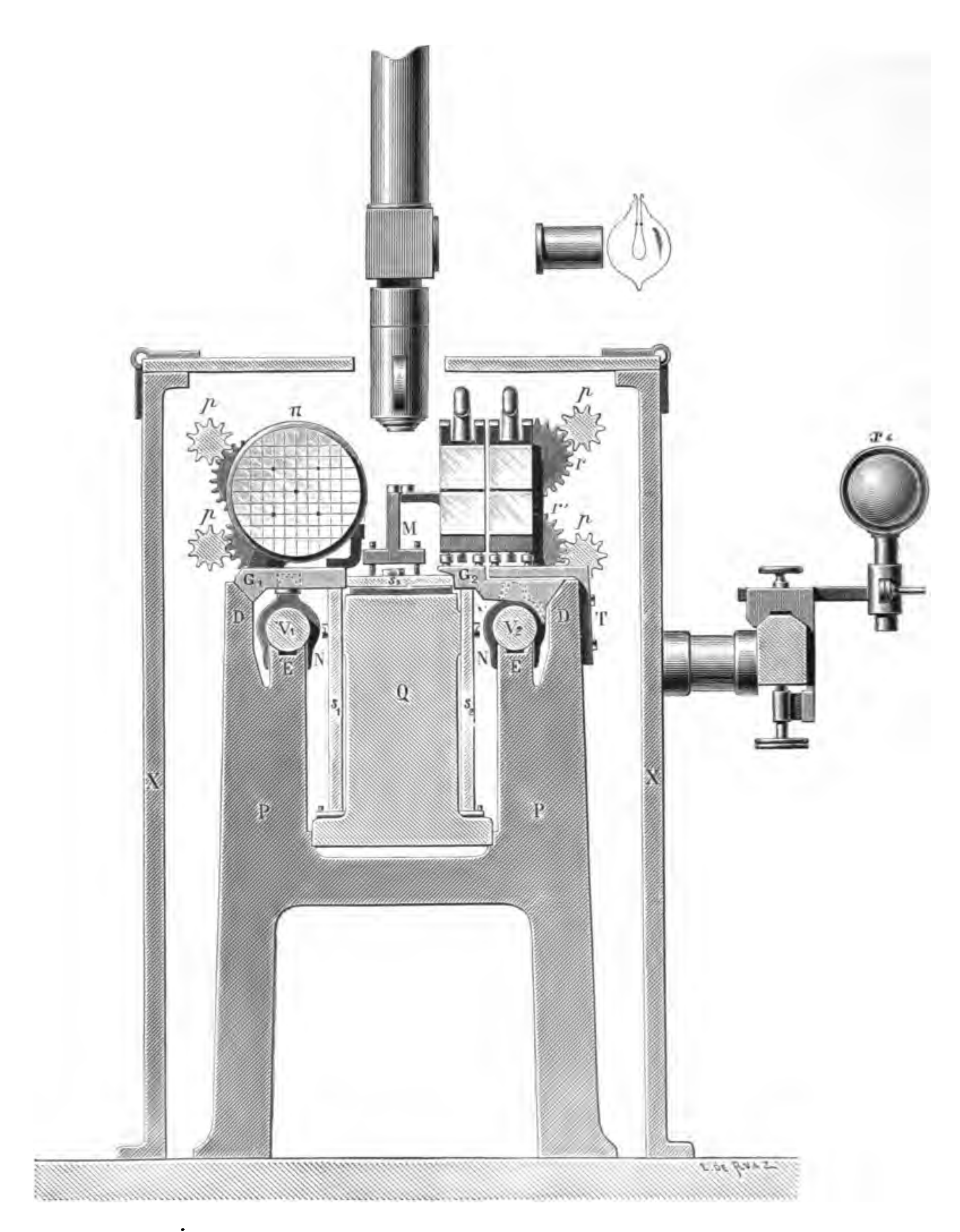


Fig. 13.

Die Fig. 12 zeigt die wirkliche Disposition des Refraktometers und des Fernrohrs. Man bemerkt, dass der Spiegel π wie die Spiegel der Maassstäbe **T** mit einer Justirvorrichtung (vgl. auch Fig. 11b) versehen sind, die durch Triebachsen **p** mit Knöpfen μ in Bewegung gesetzt werden. Das Fernrohr Y ist auf einem Parallelogramm montirt, welches dasselbe parallel zu sich selbst zu verschieben gestattet; es hat 13 *mm* Oeffnung und 95 *mm* Brennweite.

Komparator.

Der Spiegel π, dessen Bild die Referenzebene liefert, und einer der Maassstäbe müssen verschoben werden. Dazu dient der Komparator, dessen Einrichtung aus den Fig. 12 und 13 zu ersehen ist.

P ist ein schweres Gestell aus Eisen, mit dem die Eisenmasse Q fest verbunden ist.

Zur Führung der Schlitten G_1 und G_2, welche den Spiegel π und einen der Maassstäbe tragen, dienen drei Stahlplatten s_1, s_2, s_3 und die unter 45° geneigten oberen Ränder D des Gestells. Die Ausrichtung dieser Führungen nahm einen ganzen Monat in Anspruch. Das dabei benutzte Verfahren ist von Michelson ausführlich beschrieben worden. Wir müssen es hier übergehen.

Zur Bewegung der Schlitten G_1 und G_2 werden die Schrauben V_1 und V_2 benutzt, die ihrer ganzen Länge nach durch vorstehende Rippen EE unterstützt sind, um Verbiegungen zu vermeiden. Die Drehung der Schrauben erfolgt entweder direkt durch die Hebel K oder indirekt nach Klemmung durch J mittels der Schrauben k (s. auch Fig. 9). Die Schraubenmuttern N greifen von unten in Spalte der Schlitten G_1 und G_2 ein. Dieser Verbindung ist absichtlich etwas Spielraum gegeben worden, damit die Schlitten, wenn sie einmal ihre Stellung erreicht haben, nach Rückwärtsbewegung der Schrauben ganz sich selbst überlassen werden können.

Der Maassstab rechts steht auf einem fest mit dem Gestell verschraubten Träger T. Seine Justirvorrichtung wird direkt mit der Hand regulirt.

Der ganze Apparat ist mit einer Hülle aus 9 *mm* dickem Eisenblech umkleidet (Fig. 9), die zum Temperaturausgleich dient. Sie ist aussen von einem in der Figur fehlenden Holzkasten umgeben, der mit Filz gefüttert und mit Tuch überzogen ist. Die Oeffnungen der Hülle werden, soweit sie nicht durch Fenster verschlossen sind, mit Watte verstopft.

Ueber dem Maassstab M stehen die Mikrometermikroskope, welche durch die Hülle hindurchgehen.

Zum Schlusse sei noch bemerkt, dass in diesem Berichte mehrere von Michelson behandelte Punkte unerwähnt bleiben mussten. Insbesondere sei noch auf die Vorschläge, welche Michelson zur Verbesserung des Apparates und der Methode macht, hingewiesen.

Präzisions-Kurvenrektifikator.

Von

Prof. L. **Kleritj** in Belgrad[1].

1. *Grundlage.* Der neue Kurvenrektifikator ist in schematischer Darstellung in Fig. 1 abgebildet. Das Instrument besteht aus zwei Stangen AA_0 und DE, die in D rechtwinklig fest mit einander verbunden sind. Von den Punkten A und A_0 gehen die Ansätze Aa und A_0a_0 nach unten; bei a und a_0 sind die Horizontalachsen der gleich

[1]) Die folgende Notiz ist die Umarbeitung eines langen Aufsatzes, den der Verf. im August 1901 an die Redaktion dieser Zeitschrift eingesandt hat, durch den Unterzeichneten. Ich habe auf Wunsch des Verf. diese Umarbeitung gern vorgenommen, weil ich mich seit Jahren eingehend mit diesen Instrumenten beschäftigt habe (vgl. meinen Aufsatz in *dieser Zeitschr.* **9.** *S. 130. 1889*, wo ausser der Beschreibung eines damals neuen Rektifizirapparates mit Tangentenführung die von mir aufgestellte Theorie des *von der Tangente befreienden* Fleischhauer'schen Instruments angegeben ist). *Zwei*-rädrige Tangenten- oder hier besser Normalen-Instrumente sind seitdem viel versucht worden,

grossen, parallelen, scharfrandigen Rädchen R und R_0 angebracht. Von D und E gehen ebenfalls zwei Ansätze DC und EF aus, von denen der erste in der Spitze C endigt; dieser Punkt liegt sehr wenig über der durch die drei Unterstützungspunkte B, B_0 und F des Instruments gehenden Ebene und genau in der Verbindungslinie der Punkte BB_0 (Gerade YY); die Linie XX (CF) steht senkrecht auf YY. Die Mittelebenen der Rädchen R und R_0 sind parallel und stehen gleich weit von DC ab.

Eine beliebige ebene Kurve $P_0 P$ wird mit dem Instrument dadurch rektifizirt, dass es so auf die Ebene der Kurve gelegt wird, dass C über P_0 steht; das Instrument wird an EF gefasst und in der Richtung von P_0 nach P gezogen, derart, dass

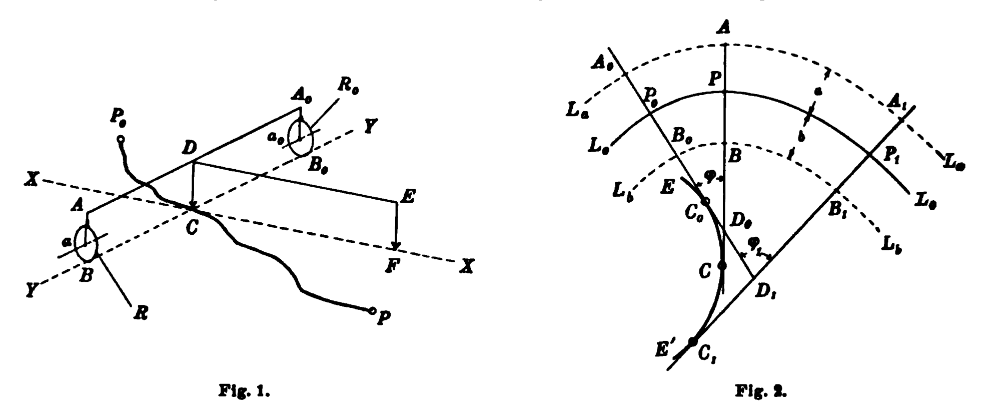


Fig. 1. Fig. 2.

C stets in einem Punkt von $P_0 P$ bleibt, was nach einiger Uebung leicht gelingt. Die Linie XX muss stets in der Richtung der Tangente der Kurve, YY in der Richtung der Normalen liegen. Die Punkte B und B_0 beschreiben dabei zu der Kurve $P_0 P$ äquidistante Linien (Parallelkurven). Der vom Punkt B zurückgelegte Weg sei L_b, der von B_0 sei L_{b_0}, beide gemessen durch die Abwicklung der Räder R und R_0; es ist dann der Weg der Spitze C, d. h. die Länge der Kurve $P_0 P$, gegeben durch

$$L_c = \frac{L_b + L_{b_0}}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

(Crelle's Theorem, *Ann. des Mathém. pures et appliquées 12.*).

Diese Gleichung 1) ist übrigens sehr einfach zu beweisen. Denkt man sich zwei Parallelkurven im Abstand a nach der einen und b nach der andern Seite des zu messenden Kurvenbogens $L_0 L_0$ gezogen (Fig. 2), so ist, wenn L_0 die Länge dieses Kurvenbogens zwischen zwei bestimmten Endnormalen, L_a die Länge der ersten, L_b die der zweiten Parallelkurve zwischen diesen Endnormalen und φ_1 den Winkel zwischen den Endnormalen bezeichnet, leicht zu zeigen, dass

$$L_a = \int_0^{\varphi_1} r\, d\varphi + a \int_0^{\varphi_1} d\varphi, \qquad L_b = \int_0^{\varphi_1} r\, d\varphi - b \int_0^{\varphi_1} d\varphi$$

oder

$$L_a = L_0 + a \int_0^{\varphi_1} d\varphi, \qquad L_b = L_0 - b \int_0^{\varphi_1} d\varphi$$

z. B. von Coradi in Zürich, z. Th. mit guten Ergebnissen, wie bei dem eben genannten Instrumentchen. Auch das hier zu beschreibende Werkzeug von Kleritj gehört in diese Kategorie. Solange die Krümmungshalbmesser in der zu rektifizirenden Kurve nicht sehr klein werden und die Krümmungshalbmesser nach Grösse und Richtung nicht sehr unregelmässig auf einander folgen, liefern die Zweiräderapparate recht gute Resultate. Es fehlen aber noch (so auch hier) Versuche und Erörterungen darüber, wie genau sich die Führung des Instruments in der Tangente oder Normalen unter den angedeuteten schwierigen Verhältnissen festhalten lässt, ebenso über die zweckmässigste Grösse der Räder und ihres Abstands bei gegebenen Kurven u. s. w. *Prof. Dr. E. Hammer.*

ist und somit

$$L_0 = \frac{L_a + L_b}{2} - \frac{a - b}{2}\int_0^{\varphi_1} d\varphi,$$

also mit $a = b$, wie bei dem vorliegenden Instrument,

$$L_0 = \frac{L_a + L_b}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

2. *Beschreibung und Justirung.* Die Fig. 3 zeigt das Bild des ausgeführten Instruments. Als Maassstab dient, dass der Durchmesser der Räder R und R_0 gleich 20 *mm* ist. Die Peripherie der Trommel an iedem Rad ist in 100 Theile zerlegt, sodass man auf $^1/_{1000}$ der Radumfänge ablesen kann. An den horizontalen Rädchen ist die Zahl der *ganzen* Umdrehungen der Räder abzulesen. An der Stange, die auf dem die Rädchen tragenden Arm senkrecht steht und mit ihm fest verbunden ist, können die die Punkte C und F tragenden Stücke (vgl. Fig. 1; ein solches Stück ist in Fig. 3 vor dem Apparat liegend gezeichnet) beliebig verschoben und fixirt werden.

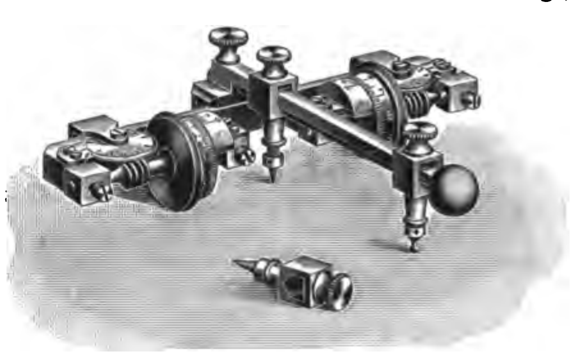


Fig. 3.

Um das Instrument zu prüfen, zeichne man zunächst scharf eine Gerade AB von etwa 400 *mm* Länge, setze den Punkt C über A und den Punkt F auf AB und befahre nun mit C sorgfältig die Gerade. Bei der Einstellung von C auf A seien die Ablesungen an den zwei Rädern: links u_a, rechts $u_{a'}$; am Ende der Befahrung links u_b, rechts $u_{b'}$. Sind die Peripherien der zwei Räder, wie es sein soll, genau gleich gross, so muss nun sein

$$u_b - u_a = u_{b'} - u_{a'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

Nehmen wir an, die Bedingung sei erfüllt; es sei ferner p der Umfang eines der Räder, die „Konstante“ des Instruments. Setzen wir

$$u_b - u_a = u_{ab},$$

so besteht für die Befahrung der geraden Strecke AB die Gleichung

$$p \cdot u_{ab} = AB$$

oder

$$p = \frac{AB}{u_{ab}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 4)$$

Bei dem ersten von L. Tesdorpf in Stuttgart hergestellten Instrument, das Fig. 3 abbildet, ist die Anforderung gleicher Raddurchmesser sehr genau erfüllt und es hat sich $p = 62{,}84$ *mm* ergeben.

Die Brauchbarkeit des Instruments verlangt noch, dass der Punkt C genau in die Y-Achse fällt (vgl. Fig. 1), was sich nicht wohl ohne Weiteres mechanisch genügend scharf fixiren, wohl aber auf folgende Art einfach erreichen lässt. Man bringe den Punkt D absichtlich aus seiner annähernd richtigen Lage einige Millimeter näher zum Punkt F, ziehe einen Kreis O mit einem Halbmesser $OK_0 > FC$, etwa $1^1/_2$-mal so gross als FC, und stelle ferner auf OY das Instrument so auf, dass F in den Punkt K_0 fällt und C in der Geraden OY liegt, etwa in C_1' (vgl. Fig. 4) Nun führe man das Instrument so, dass F genau die Peripherie des gezeichneten

Kreises etwa bis zum Punkt K beschreibt. Hat dann die Stange des Instruments z. B. die Lage KM, so markire man auf dieser Linie den der Spitze C entsprechenden Punkt C_1''. Nun stelle man das Instrument nochmals auf der Strecke $K_0 O$ auf, aber gegen die vorige Lage um 180° gedreht, so, dass F wieder nach K_0 kommt; durchführt man mit F den nämlichen Bogen $K_0 K$ des Kreises wie vorhin, so kommt die Stange in die Endlage KN, auf der der Punkt C_2'' bezeichnet wird, der der Spitze C entspricht. Zu der Geraden $\alpha\beta$, die C_1'' mit C_2'' verbindet, ziehe die Parallele OG durch den Mittelpunkt des Kreises; die Schnittpunkte dieser Geraden mit den Geraden KC_1'' und KC_2'' seien C_1 und C_2, so ist (vgl. Fig. 1)

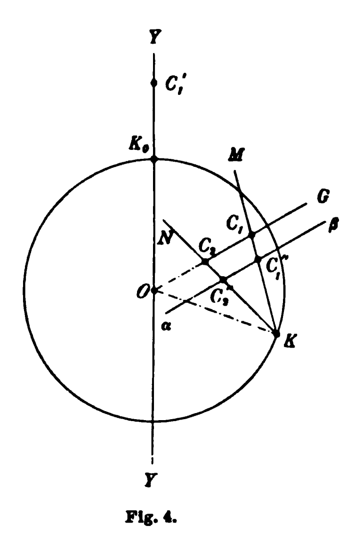


Fig. 4.

$$KC_1 = KC_2 = FC.$$

Ferner ist für einen beliebigen Punkt K des gezeichneten Kreises

$$OC_1 \cdot OC_2 = a^2 = \text{Konst.};$$

die Punkte C_1 und C_2 der Traktorie des Kreises O sind inverse Punkte[1]). Auf diese Art lässt sich also verhältnissmässig einfach die richtige Entfernung zwischen den Punkten F und C am Instrument feststellen: hält man F auf dem Punkt K fest, so ist einfach C bis zu dem Punkt C_1 oder C_2 zu verschieben.

Schraubt man endlich, nachdem auf die angegebene Art die richtige Lage des Punkts C bestimmt ist, den Einsatz etwas nach unten, sodass mit C ein Stich ins Papier gemacht und das Instrument um C gedreht werden kann, so führe man diese Drehung noch aus, um zuzusehen, ob genau $CB = CB_0$ ist: sind u und v_0 die Ablesungen am Rad R und R_0, so muss dabei

$$u + u_0 = 0$$

werden, oder auch, es muss bei zweimaliger Drehung um 360°, das erste Mal von links nach rechts und mit Ablesung u am Rad R, das zweite Mal von rechts nach links und Ablesung u_0 am Rad R_0

$$u = u_0$$

werden. Würde sich durch diese Probe CB nicht gleich CB_0 zeigen, so wäre übrigens damit das Instrument zu Messungen nicht unbrauchbar, es müsste nur jede Linie AB doppelt gemessen werden, das eine Mal im Sinn AB, das andre Mal im Sinn BA, und es müsste das Mittel dieser beiden Messungen genommen werden.

3. *Genauigkeit.* Aus vielen Versuchen mit dem abgebildeten Instrument hat der Verfasser gefunden, dass der Fehler des Resultats ziemlich unabhängig ist von der durchfahrenen Länge; der mittlere Betrag des unregelmässigen Fehlers zeigte sich etwa gleich der Nonienangabe eines Rades, also gleich

$$\frac{62{,}84}{1000} = 0{,}063\ mm.$$

Die Versuche sind besonders mit Hülfe von Kreislinien angestellt worden[2]).

[1]) Der Verf. wird diese geometrischen Beziehungen demnächst an anderer Stelle beweisen; vgl. über den Traktoriographen die *„Glas" der Serb. Akad. d. Wiss. 1896. S. 245; Dingler's polytechn. Journ.* **305.** *S. 234. 1897*; Ref. in *dieser Zeitschr.* **18.** *S. 62. 1898.*

[2]) also (und auch aus andern naheliegenden Gründen) nicht erschöpfend. Man wird bei „unregelmässigen" Linien häufig auf *viel* grössere Fehler kommen. — *H.*

Referate.

Tachymetrischer Rechen- und Auftrage-Apparat zur Herstellung des kotirten Plans.

Von G. Abate-Daga. *Rivista di Topogr. e Catasto* **14.** *S. 81. 1901/02.*

Den zahlreichen tachymetrischen Rechen- und Auftrage-Instrumenten fügt der Verf. ein neues bei, das aus den im Feld abgelesenen Stücken: Lattenabschnitt (oder „Generatorzahl" der Italiener), Höhenwinkel und Horizontalwinkel Rechnung und Auftragen der Punkte zusammen zu besorgen hat.

Das Instrument verwendet zur Rechnung der Ausdrücke

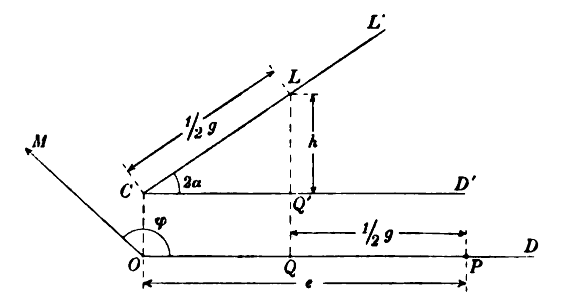
$$e = g \cdot \cos^2 \alpha, \qquad h = g \cdot \sin \alpha \cos \alpha$$

(wo, mit den bei uns üblichen Bezeichnungen, $g = kl$ die „Generatorzahl" und α der Höhenwinkel ist) die Formen

$$e = {}^1/_2 g + {}^1/_2 g \cos 2\alpha, \qquad h = {}^1/_2 g \sin 2a.$$

Das *geometrische Schema* des Instruments ist demnach das folgende (s. die Figur).

Es sei OM die Nullrichtung, an der die abgelesenen horizontalen Richtungen der einzelnen Strahlen anzutragen sind und z. B. der Winkel $MOD = \varphi$ der Werth dieses Horizontalwinkels für einen bestimmten Punkt P. Im Punkt C ($OC \perp OD$) wird an der Parallelen CD' zu OD der Winkel $L'CD' = 2\alpha$ angetragen und auf seinem Schenkel $CL = {}^1/_2 g$ gemacht. Zieht man $LQ \perp OD$ und macht schliesslich noch $QP = CL = {}^1/_2 g$, so zeigt die Figur, dass $OP = e$ (also der Punkt P aufgetragen) und $LQ' = h$ ist. In der *mechanischen Ausführung* besteht das Instrument aus drei Theilen: 1. einem gewöhnlichen Halbkreis-„Transporteur" mit dem Mittelpunkt O, aus bekannten Gründen gegen den Uhrzeigersinn beziffert, zum Auftragen der φ; 2. um einen festen Punkt C dieses Zeichenhalbkreises, etwas über O, dreht sich ein Kreisausschnitt (Quadrant), der im Endhalbmesser die Skale CL trägt; 3. ist endlich ein Anschlagwinkel mit Katheten parallel und senkrecht zum Durchmesser des Halbkreises 1. vorhanden und diese beiden Katheten tragen Skalen zur Ablesung von h und von ${}^1/_2 g$ (zur Verlängerung von OQ um diesen Betrag). Zur Einstellung von 2. auf 2α ist am Körper von 1. selbstverständlich ein Index vorhanden, wie denn die Handhabung des Instruments nach dem Gesagten wohl keiner weitern Erläuterung bedarf.



Der Verf. geht sehr ausführlich auf die Berichtigung des Instruments, die Instrumentalfehler und die erreichbare Genauigkeit von Rechnung und Auftragung ein (die Genauigkeit der Rechnung scheint den anderen Verfahren gegenüber noch nicht ganz zu befriedigen) und beschreibt endlich noch eine etwas andre Anordnung des Apparats. Es wird auch ein einfaches Mittel angedeutet, durch das der Höhenwinkel 2α an Stelle von α *mechanisch* hergestellt werden kann; es wird in der That beinahe nothwendig sein, dass man bei der Anwendung dieses Instruments dafür sorgt, dass *mechanisch* ${}^1/_2 g$ statt g und 2α statt α hergestellt wird, wenn man nicht häufigen Versehen ausgesetzt sein will. *Hammer.*

Neue Methode zur Bestimmung von Oberflächenspannungen bei Flüssigkeiten.

Von W. H. Whatmough. *Zeitschr. f. phys. Chem.* **39.** *S. 129. 1901.*

Die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten kann man nach Simon (*Ann. de chim. et de phys.* **32.** *S. 5. 1851*) in der Weise bestimmen, dass man den Druck ermittelt, der nöthig ist, um eine Blase aus dem unteren Ende einer in die Flüssigkeit eintauchenden Kapillarröhre austreten zu lassen. Der gemessene Druck soll dann gleich der Summe des hydrostatischen

Druckes an der Stelle der Blase und einem Drucke sein, welcher der Steighöhe der Flüssigkeit im Rohre entspricht.

Diese Beziehung trifft indessen, wie G. Jäger (*Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien.* ***110****, IIa. S. 245. 1891*) experimentell nachgewiesen hat, nur bei einer Form der Blase zu, die mit der Form der Meniskusfläche in der Kapillarröhre identisch ist. In dieser Form ist aber die Blase im labilen Gleichgewicht; vergrössert man also, um das Abreissen der Blase zu ermöglichen, den Druck nur ein wenig, so wächst die Blase sofort so schnell bis zu ihrer Maximalgrösse, dass das Manometer eine regelmässige Druckabnahme anzeigt. Die Luftblase entweicht daher bei einem Drucke, der um einige Millimeter niedriger ist, als der beobachtete Maximaldruck.

Zur Vermeidung dieser Unsicherheit hat Jäger die Methode in der Art modifizirt, dass er zwei Kapillarröhren mit verschiedenem Radius mit dem gleichen Druckreservoir verband und die offenen Enden der Röhren nach einander in zwei Flüssigkeiten vom spezifischen Gewichte s_1 und s_2 eintauchte. Variirt man dann in jedem Falle den Höhenunterschied H beider offenen Enden, bis aus ihnen die Luftblasen gleichzeitig austreten, und nennt diese Unterschiede bezw. H_1 und H_2, so ergiebt sich das Verhältniss der Oberflächenspannungen beider Flüssigkeiten

$$\gamma_1 : \gamma_2 = H_1 s_1 : H_2 s_2 .$$

Der Verf. hat nun auf Vorschlag Ostwald's die Methoden von Jäger und Simon in der Weise vereinigt, dass er sich nur eines Kapillarrohrs mit sehr kleinem Lumen und kleinem äusseren Durchmesser bedient. Dadurch wird der Durchmesser der Blase, wenn sie die Form der Meniskusfläche in der Kapillarröhre hat, sehr wenig verschieden von dem Durchmesser, den sie beim Abreissen aufweist; in Folge dessen kann auch die Druckerniedrigung beim Uebergange von der einen in die andere Form nur minimal werden und es ist gleichgültig, in welchem Augenblicke man den Druck ermittelt. Der geringe Durchmesser der Kapillare beseitigt ferner noch eine Unsicherheit, von der die Jäger'sche Methode nicht frei war, dass nämlich die Gestalt der Blasen in verschiedenen Flüssigkeiten verschieden ist.

Führt man ein solches Kapillarrohr nach einander in zwei verschiedene Flüssigkeiten ein und sind in beiden Fällen die zum Abreissen der Blase nöthigen Drucke p_1 und p_2, so folgt die einfache Relation

$$\gamma_1 : \gamma_2 = p_1 : p_2 .$$

Die Methode gewährt somit den grossen Vortheil, dass die spezifischen Gewichte der beiden zu vergleichenden Flüssigkeiten in die Berechnung nicht eingehen und daher auch nicht bekannt zu sein brauchen.

Zur Verwirklichung der Methode diente ein Apparat, welcher in Fig. 1 schematisch dargestellt ist; A bezeichnet das Druckreservoir, B das (Schwefelsäure-)Manometer, C die Kapillarröhre, D das mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllte Gefäss; von den Hähnen dient der untere dazu, den Druck in der Kapillarröhre solange zu vermehren, bis Blasen aus der Spitze austreten, durch den oberen wird dann der Druck bis zum Aufhören des Luftblasenstromes allmählich geschwächt.

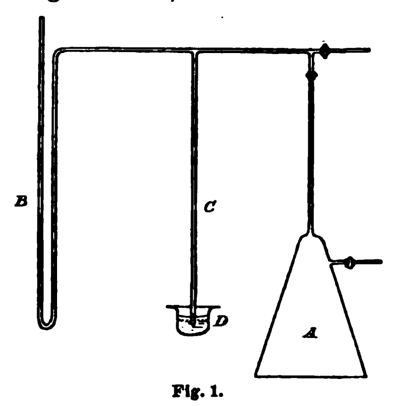


Fig. 1.

Die Form der Kapillarröhren ist die folgende. An das obere Ende eines ziemlich starken Glasrohres, in welches etwas Watte eingeführt war, um die Luft von mitgerissenem Staub zu befreien, schliesst sich ein 15 *cm* langes Stück dünnwandiges Glasrohr von 2 *mm* Durchmesser, dessen unteres Ende in die eigentliche Kapillare von etwa 1 *cm* Länge und 0,5 *mm* Durchmesser ausgezogen war. Die Kapillare wurde dann etwa 5 *mm* unter der Verjüngung des Glasrohres abgeschnitten, wobei darauf geachtet wurde, dass der kapillare Faden selbst kürzer als 2 *mm* war; Fäden über 2 *mm* Länge ergaben stets unrichtige Resultate, deren Ursache Verfasser in der inneren Reibung der Luft in dem kapillaren Faden suchte.

Während nach der zuerst getroffenen Anordnung thatsächlich nur eine kapillare Spitze benutzt wurde, erhöhte Verf. deren Zahl später auf zwei und während des letzten Theiles der Arbeit gar auf sieben, die alle in gleicher Höhe im Kreise angeordnet und (Fig. 2) durch ein Gummiband 3 zusammengehalten wurden. Die Spitzen wurden endlich in eine Fassung *AB* und mit dieser in das mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllte Gefäss eingesetzt. Ein Nachrutschen war dadurch vermieden, dass sich das Rohr *AB* mit einem Vorsprung *B* auf den Rand *J* einer Röhre auflagerte. Das Einfüllen der Flüssigkeit in das Versuchsgefäss geschah durch den Trichter *D*; durch Drehen des Hahnes *T* konnte sie durch *H* abgelassen werden.

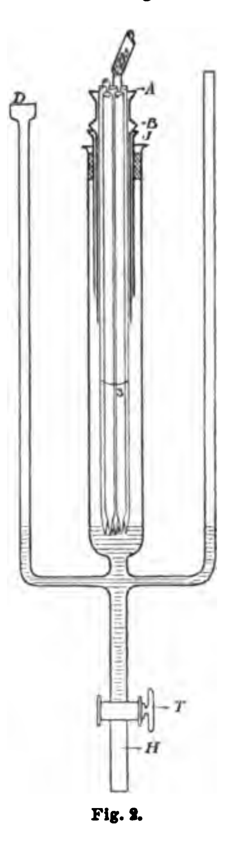


Fig. 2.

Die Genauigkeit der Methode kennzeichnen folgende Zahlen, denen die Resultate einer Bestimmung nach der Methode der Steighöhe zugefügt sind.

Verhältniss der Oberflächenspannung:

	aus der Steighöhe	nach der beschriebenen Methode
Wasser zu Alkohol . .	3,117	3,114
Alkohol zu Aether . .	1,366	1,364

Weitere Versuche beziehen sich auf die Oberflächenspannung von Salzlösungen[1]), binären Gemischen, von binären Mischungen, die zwei Schichten mit einem kritischen Punkt geben, sowie endlich von ternären Gemischen. Die Resultate beanspruchen wesentlich ein physikalisch-chemisches Interesse.

Nach Quincke lassen sich für Lösungen von Chloriden die Oberflächenspannungen darstellen nach einer Gleichung

$$\gamma = a + by,$$

wo y die Zahl von Salzäquivalenten auf 100 H_2O bedeutet; b ist eine nach Quincke für alle Chloride konstante Grösse. Die Versuche des Verf. bestätigen Quincke's Ansicht. Die Formel

$$\gamma = 7{,}557 + 0{,}1857\, y,$$

wo die erste Zahl also die Oberflächenspannung von reinem Wasser bedeutet, stellt die Versuche mit Chloriden sehr gut dar; ähnliche Konstanten ergeben sich für die Nitrate und Sulfate.

Entgegen den Beobachtungen von Quincke und Harnack konnte Verf. Aenderungen der Oberflächenspannung durch Stehenlassen der Lösung nicht konstatiren. *Schl.*

Experimentaluntersuchung über die Stromvertheilung in elektrischen Oszillatoren.

Von C. A. Chant. *Amer. Journ. of Science* **13.** *S. 1. 1902.*

Wechselströme, die in einem dicken Leiter fliessen, vertheilen sich bekanntlich nicht gleichmässig über den Querschnitt, sondern sie werden an die Oberfläche gedrängt. Ist die Periodenzahl sehr gross, so fliessen die Ströme nur in einer dünnen Oberflächenschicht („*Skin-effect*"). Chant stellt sich nun die Aufgabe, experimentell zu untersuchen, ob bei der Erregung elektrischer Wellen sich die Wirksamkeit von Oszillatoren ändert, wenn dieselben nicht aus massiven Stücken, sondern aus dünnen Metallblechen bestehen. Es sei im Voraus bemerkt, dass ein solcher Einfluss nicht festgestellt werden konnte.

---

[1]) Untersucht wurden die Chloride $LiCl$, $NaCl$, KCl, NH_4Cl, $BaCl_2$, $SrCl_2$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ in 5 verschiedenen Konzentrationen ($^1/_4$-norm. bis 4-fach norm.), die Sulfate K_2SO_4, Na_2SO_4, $MgSO_4$, $MnSO_4$ in ebenfalls 5 Konzentrationen ($^1/_{16}$-norm. bis 1-norm.).

Ohne näher auf die Resultate einzugehen, sei im Folgenden lediglich die experimentelle Anordnung beschrieben, die sich bei Versuchen über elektrische Wellen oft mit Vortheil wird anwenden lassen.

a) *Oszillatoren.* Von einem Induktorium mit 12,5 *cm* Schlagweite führen zwei Drähte in einer Glasröhre durch die Wand eines parabolischen Hohlspiegels mit horizontaler Achse zum Oszillator. Die Oszillatoren waren entweder zylindrisch (Fig. 1) oder kugelförmig (Fig. 2). Die Zylinder wurden durch Halbkugeln abgeschlossen und hatten einen Durchmesser von 2,5 *cm* und eine Länge von 12,5 *cm*. Die Zuführungsdrähte endeten in gabelförmigen federnden Kupferbändern, in die die Zylinder eingelegt und durch Gummibänder festgehalten wurden; ein einfaches Holzgestell (vgl. Fig. 3) dient als Stütze und erlaubt, die verschiedenen

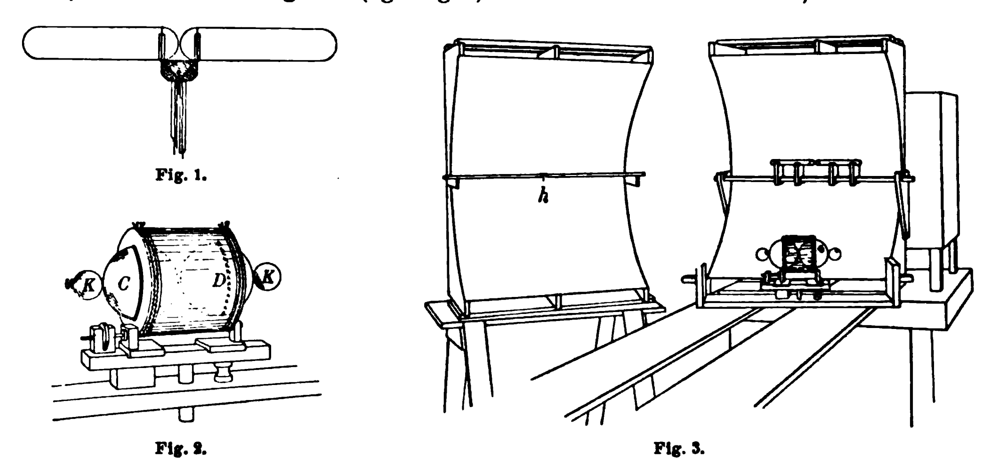


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

leicht auswechselbaren Oszillatoren genau in dieselbe Lage zu bringen. Die kugelförmigen Oszillatoren hatten die von Righi vorgeschlagene Form. Die Kugeln *C* und *D* sitzen in Hartgummiringen, um die eine Membran gebunden war. Die Höhlung ist mit farblosem Vaselinöl gefüllt. Zu beiden Seiten sind an Stützen, die mit Gelenken versehen sind, die Kugeln *KK* befestigt, die mit den Zuführungsdrähten verbunden werden. Wenn *C* und *D* 2,5 und 4 *cm* Durchmesser haben, hat *K* 1,9 *cm* Durchmesser; haben *C* und *D* 10 *cm* Durchmesser, so werden sie mit Kugeln *K* von 3,7 *cm* Dicke kombinirt. Der ganze Oszillator wird auf eine hölzerne Stütze gebracht, welche eine Höhenverstellung und eine Verschiebung der rechten und linken Hälfte gegeneinander gestattet.

Ein Motorunterbrecher bewerkstelligte die Unterbrechungen des primären Kreises; ein ebenfalls in den primären Kreis eingeschalteter Pendelunterbrecher war so justirt, dass während einer Kontaktdauer des Pendelunterbrechers der Motorunterbrecher etwa 6-mal den Strom unterbrach.

b) Als *Empfänger* diente der von Rutherford zuerst angegebene. Ein Bündel aus 20 feinen Eisendrähten von 0,14 *mm* Dicke und 1 *cm* Länge ist mit 90 Windungen feinen, isolirten Kupferdrahtes bewickelt. Diese kleine Spule *h* (Fig. 4) ist im Ende einer kleinen Glasröhre befestigt, durch welche die Zuführungsdrähte *ee* zur Spule geführt sind. Die Enden dieser Drähte sind umgebogen und können in Quecksilbernäpfchen eingehängt werden. Dadurch werden sie mit zwei langen horizontalen Drähten verbunden, die in der Brennlinie des Empfängerhohlspiegels auf einer Holzstütze befestigt sind (vgl. Fig. 3 links).

e e h

Fig. 4.

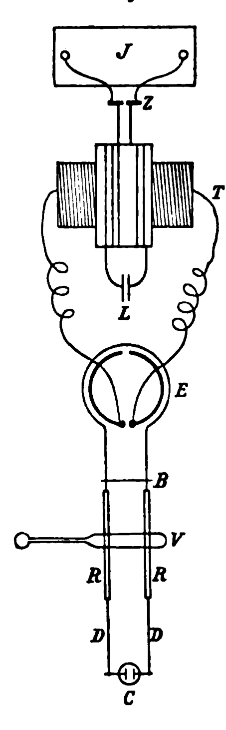
Die jeweilige Magnetisirung des Eisendrahtbündels wird durch ein einfaches Magnetometer gemessen. Letzteres besteht aus zwei kleinen an einem Spiegel befestigten Magneten; der Spiegel ist an einem Kokonfaden aufgehängt und seine Stellung wird mit Fernrohr und Skale beobachtet. Hinter dem Spiegel ist eine Glasröhre befestigt, in welche der Empfänger gerade hineinpasst, sodass die gegenseitige Lage von Drahtbündel und Magneten unveränderlich festgelegt ist. Nachdem nun das Bündel in einer besonderen Spule bis zur Sättigung

magnetisirt ist, wird der dem Sättigungszustand entsprechende Ausschlag des Magnetometers gemessen (400 *mm* bei der gewählten Versuchsanordnung). Hierauf wird der Empfänger in den Hohlspiegel gebracht, wo die auftreffenden Wellen eine Entmagnetisirung des Eisens bewirken. Wird dann der Empfänger wieder in das Magnetometer zurückgebracht, so erhält man gegen den Versuch bei gesättigtem Eisen eine Verringerung des Ausschlages, dessen Betrag ein Maass für die Stärke der auftreffenden elektrischen Wellen ist. *E. O.*

Verbesserung des Apparates zur Messung der Dielektrizitätskonstante mit Hülfe elektrischer Drahtwellen.

Von P. Drude. *Zeitschr. f. phys. Chem.* ***40.*** *S. 635. 1902.*

In *dieser Zeitschr.* ***18.*** *S. 351. 1898* wurde über einen Apparat des Verf. zur Messung der Dielektrizitätskonstante berichtet. Die neuen Verbesserungen beziehen sich darauf, dass die Funkenstrecke des Wellenerregers nicht direkt vom Induktorium gespeist wird, sondern von einem Tesla-Transformator. Seine sekundäre Spule besteht aus einem Holzzylinder *T* (vgl. die Figur) von 7 *cm* Durchmesser und 15 *cm* Länge, der mit 50 bis 60 *m* gut isolirtem Draht von 0,5 *mm* Dicke so bewickelt ist, dass die Windungen direkt aneinanderstossen; dieser Zylinder ruht auf zwei Holzfüssen von 5 *cm* Höhe. In der Mitte dieser Spule ist durch Korkstücke ein etwa 6 *cm* langer Hohlzylinder aus Holz festgeklemmt, von 10 bis 12 *cm* äusserem, 8 bis 10 *cm* innerem Durchmesser, auf dem $2 \times 2\frac{1}{2}$ Windungen eines 1 bis 2 *mm* dicken, gut isolirten Drahtes in entgegengesetztem Sinn befestigt sind. Die einen Enden dieser primären Windungen führen zu der 2 *mm* langen, in der Länge etwas veränderbaren Zink-Funkenstrecke *Z*, während die anderen Enden mit den Belegungen einer Leydener Flasche *L* von 6 bis 7 *cm* Durchmesser, 10 *cm* Höhe der Belegungen und $2\frac{1}{2}$ *mm* Glasdicke verbunden sind. Die Zinkfunkenstrecke ist in die Sekundärspule eines Induktoriums *J* (mit Deprez-Unterbrecher) von 4 bis 20 *cm* Schlagweite eingeschaltet; die Enden der Sekundärspule des Tesla-Transformators führen zu den Entladungskugeln des schon früher (*a. a. O.*) beschriebenen Wellenerregers *E*. Durch das Aufleuchten der Vakuumröhre *V* wird die Stelle des Wellenmaximums angezeigt; dieses Maximum wird durch Verschieben der Drähte *DD* in den Röhren *RR* aufgesucht. Die Drähte *DD* führen zu dem mit Elektroden versehenen Kölbchen *C*, welches die zu prüfende Flüssigkeit aufnimmt. Bei *B* liegt ein zur Erde abgeleiteter Drahtbügel über den parallelen Drähten; die günstigste Stellung desselben muss derart ausprobirt werden, dass nur eine einzige Resonanz auftritt. Von Wichtigkeit ist auch die richtige Grösse der Kapazität der Leydener Flasche.



Als Firmen, welche die Einrichtung liefern, nennt Verf. Stöhrer (Leipzig), Leybold (Köln) und W. Schmidt (Giessen). Die letztere Firma liefert auch den Tesla-Transformator nebst Leydener Flasche; die Apparate aus dieser Bezugsquelle kann Verf. auf ihr richtiges Funktioniren selbst kontroliren. *W. J.*

Neu erschienene Bücher.

H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie. 1. Bd. gr. 8°. XXIV, 781 S. m. 251 Fig. Leipzig, S. Hirzel 1900. 40,00 M.; geb. 44,00 M.

In diesem auf fünf Bände angelegten Handbuch der Spektroskopie soll eine möglichst vollständige Uebersicht über unsere gesammten spektroskopischen Kenntnisse gegeben werden. Zur Lösung dieser für einen einzelnen Forscher sehr umfangreichen und mühevollen Aufgabe hat der Verf. einen grossen Theil seiner Zeit in den letzten zehn Jahren

verwandt; da die Herausgabe des ganzen Werkes sicher noch eine Reihe von Jahren erfordern dürfte, so hat von vornherein der Verf. ein Anrecht auf den Dank aller Physiker dafür, dass er vor der grossen Arbeitslast, die die Bearbeitung eines so umfangreichen Werkes zur Folge hat, nicht zurückgeschreckt ist. Dieser Dank ist um so grösser, weil man mit Sicherheit erwarten darf, dass es dem auf dem Gebiete der Spektroskopie so bewanderten Verf. gelingen wird, ein wirkliches Fundamentalwerk für die Wissenschaft zu schaffen.

Es ist natürlich, zumal für einen Einzelnen, unmöglich, ein so umfangreiches Buch fehlerlos zu verfassen. Wenn daher der Ref. im Folgenden auf einige Unrichtigkeiten hinweisen wird, so erfüllt er damit die Bitte des Verf., ihn auf begangene Fehler aufmerksam zu machen, und hat dabei in keiner Weise die Absicht, die Bedeutung des Buches dadurch irgendwie herabsetzen zu wollen.

Während der vorliegende erste Band die Geschichte der Spektroskopie und die Beschreibung und Theorie der Apparate enthält, soll der zweite Band[1]) das Kirchhoff'sche Gesetz und seine Folgerungen, die Emissionserscheinungen und die Gesetzmässigkeiten in den Spektren behandeln. Der dritte Band wird die Absorptionserscheinungen nebst Fluoreszenz und Phosphoreszenz besprechen, im vierten Bande werden die gesammten Kenntnisse für jedes einzelne Element vereinigt werden, und im fünften Bande soll die Spektroskopie der Himmelskörper zur Darstellung gebracht werden.

Ganz besonders werthvoll wird das vorliegende Werk dadurch werden, dass der Verf. die einzelnen Arbeiten nicht einfach referirt, sondern dieselben kritisch behandelt. Der Ref. kann sich der folgenden, im Vorwort zum Ausdruck gebrachten Meinung des Verf. nur völlig anschliessen: „Kritiklose Referate geben dem Leser kein Bild von den Arbeiten und dem Stande der Wissenschaft, und ich meine, eine kritische Darstellung ist, selbst wenn man den Standpunkt des Autors nicht theilt, anregender und werthvoller, als eine rein referirende". Der Verf. hat daher überall, wo er sich eine Meinung gebildet hat und wo er Methoden und Schlüsse für unrichtig oder unbewiesen hält, frei Kritik geübt. Indessen glaubt der Ref. der Ansicht des Verf. im Vorwort: „Wenn meine Urtheile auch manchmal sehr scharf werden sollten, so hoffe ich doch, nie das Niveau rein wissenschaftlicher Kritik verlassen zu haben", doch widersprechen zu müssen und will diesen Widerspruch rechtfertigen, indem er die vom Verf. an J. Scheiner geübte Kritik näher beleuchtet.

S. 451 heisst es: „Die Konkavgitter vereinigen bekanntlich die Fähigkeit von Hohlspiegeln, reelle Bilder zu entwerfen, mit der Eigenschaft der Gitter, Spektren zu erzeugen. Man braucht deshalb bei ihnen keine Linsen, und darin liegt ihr enormer Vorzug vor den Plangittern", dazu die Anmerkung: „Es ist also ein arger Fehler, wenn Scheiner in seiner Spektralanalyse der Gestirne p. 61 angiebt, die Konkavgitter erforderten ein Kollimatorrohr", und *S. 691*: „entweder nämlich geht man darauf aus, die Wellenlängen direkt in Millimetern auszudrücken, ohne andere ältere Messungen über bekannte Linien zu Hülfe zu nehmen; dann sprechen wir von einer absoluten Bestimmung der Wellenlängen und eine solche erfordert im Allgemeinen (abgesehen von den später zu besprechenden neueren Interferenzmethoden) durchaus die Anwendung eines ebenen Gitters", dazu die Anmerkung: „Wenn Scheiner in seiner Spektralanalyse der Gestirne p. 61 behauptet, auch die Konkavgitter eigneten sich für absolute Bestimmungen, so zeigt das nur, ebenso wie die Angabe, beim Konkavgitter gebrauche man ein Kollimatorrohr, dass ihm dies wichtigste spektroskopische Instrument ganz unbekannt ist".

Selbst wenn der Verf. (K.) objektiv Recht hätte, kann die in dieser zweiten Anmerkung enthaltene Kritik wohl nicht mehr als eine rein wissenschaftliche gelten; die gewählte Ausdrucksweise ist verletzend, vor Allem ist es aber nicht zu billigen, dass ein schon früher kräftig gerügtes Versehen nochmals an einer späteren Stelle ausführlich erwähnt und tadelnd besprochen wird. Nun beruht aber das eine Versehen auf einem blossen Druckfehler, was

[1]) Kürzlich erschienen. — Die Red.

Kayser unschwer hätte bemerken können, während das andere Versehen schon längst von Scheiner richtig gestellt worden ist; und es ist doch nicht üblich, einem Forscher Fehler, die er bereits verbessert hat, nach Jahren von Neuem vorzuwerfen mit dem Bemerken, daraus folge, dass ihm Dies und Jenes auch jetzt noch „ganz unbekannt *ist*".

In seiner „Spektralanalyse der Gestirne (Leipzig, W. Engelmann 1890)" sagt nämlich Scheiner, *S. 61*: „In neuerer Zeit werden die Metallgitter auch auf konkaven Flächen von grossem Radius gezogen. Diese Anordnung gewährt besonders für die Herstellung von *Spektralphotographien* einen grossen Vortheil, indem durch das konkave Gitter ein reelles Bild des Spektrums *ohne Zwischenschaltung einer Linse* erzeugt wird. Ein mit einem derartigen Gitter versehenes Spektroskop besteht also nur aus *Spalt, Kollimator und Gitter*; die Beobachtung des Spektrums kann mit dem blossen Auge oder mit einer Lupe geschehen. Auch diese Konstruktion eignet sich zu absoluten Wellenlängenbestimmungen, aber nur für eine gewisse Anordnung von *Spalt, Gitter und Mikrometer oder Kamera.*" Aus den hier kursiv gedruckten Stellen geht unzweideutig hervor, dass man statt „Kollimator" das Wort „Kamera" zu lesen hat, zumal doch ein Kollimator oder, wie Kayser oben beide Male sagt, Kollimatorrohr aus *Spalt* und Linse besteht.

Ferner ist das Versehen der „absoluten Wellenlängenbestimmungen" schon 1894 richtig gestellt worden, nämlich in der englischen Übersetzung von Scheiner's Werk: „*A treatise on astronomical spectroscopy being a translation of ‚Die Spektralanalyse der Gestirne by J. Scheiner', translated, revised and enlarged with the cooperation of the author by Edwin Brant Frost* (Boston, U. S. A., und London, Ginn & Co. 1894)". Dieses englische Buch ist also gleichsam als zweite Auflage des Scheiner'schen Werkes zu bezeichnen. Hier heisst es nun *S. 52*: „*A most important advance in the method of the production of spectra and the determination of their relative wave-lengths was made by Rowland's construction and use of concave gratings. By this means collimating and observing telescopes are entirely done away with, as the grating itself, ruled on a concave spherical surface, diffracts the rays from the slit to a focus.*" Allerdings ist diese englische Auflage wohl von Kayser übersehen worden, da sie in der von ihm *S. XVII* seines Werkes gegebenen Zusammenstellung aller allgemeineren Werke über Spektralanalyse nicht angeführt ist.

Auch *S. 603* schneidet Scheiner schlecht ab; dort heisst es nämlich: „Campbell und Andere hatten beobachtet, dass in verschiedenen Theilen des Orionnebels die Intensitätsverhältnisse der Linien sehr verschieden sind, und daraus auf Verschiedenheiten in diesen Theilen geschlossen. Scheiner bestritt die Berechtigung dazu und wollte die Thatsache durch die verschiedene Helligkeit der entsprechenden Theile des Nebels nach dem Purkinje'schen Phänomen erklären. Runge zeigte dann, dass das falsch ist; . . . ., sodass also dies Phänomen nicht zur Erklärung ausreicht". Die von dem letzteren im Laboratorium angestellten vergleichenden Untersuchungen sind indessen nicht beweisend; er hat nämlich nicht, wie Scheiner bei seinen Versuchen, Lichtlinien benutzt, sondern seine Zahlen, wie Scheiner (*Astron. Nachr. 1899. S. 299*) inzwischen mitgetheilt hat, durch die Vergleichung von Flächen (Halbkreisen) gewonnen, also unbeachtet gelassen, dass Scheiner bereits darauf hingewiesen hatte, welchen grossen Einfluss schon die Spaltweite auf die Verhältnisszahlen hat. Scheiner's Erklärung kann daher nicht als widerlegt gelten.

Es soll nunmehr auf den Inhalt des vorliegenden ersten Bandes näher eingegangen werden. Im *ersten Kapitel* wird auf 128 S. eine fesselnd geschriebene Geschichte der Spektroskopie gegeben, die bis auf wenige Paragraphen an Gründlichkeit nichts zu wünschen übrig lässt.

Der das Draper'sche Gesetz behandelnde Paragraph, *S. 35*, ist voller Widersprüche, denn es heisst dort: „man hatte auch wohl . . . schon die Meinung ausgesprochen, alle Körper begönnen bei derselben Temperatur zu leuchten. Aber erst Draper suchte diese Fragen *experimentell zu entscheiden* und fand *die richtige Antwort*, welche sich später als *eine Konsequenz des Kirchhoff'schen Gesetzes* herausstellen sollte. Draper erhitzt in einem Gewehrlauf Platin, Kalk, . . ., und findet, dass sie alle bei derselben Temperatur anfangen, sichtbar

zu werden, ... Es ist freilich zu bemerken, dass *dieser Versuch in Wahrheit gar nichts beweist:* die Körper befinden sich sämmtlich in demselben Hohlraum und senden nicht nur eigenes Licht aus, sondern reflektiren auch fremdes . . . . So müssen die Körper, auch wenn sie qualitativ oder quantitativ sehr verschiedenes Licht emittirten, doch scheinbar gleich emittiren. *Das konnte indess* Draper *nicht wissen*". Man vergleiche hiergegen, wie dieses Thema um die gleiche Zeit aufs klarste von Lummer (*Le rayonnement des corps noirs. Rapports présentés au Congrès Intern. de Physique à Paris en 1900.* Bd. II. Paris, Gauthier-Villars 1900. *S. 41; Arch. d. Math. u. Phys.* **1.** *S. 77. 1901*) behandelt worden ist. Kayser's Darstellung ist auch unrichtig, denn das Draper'sche Gesetz, dass alle Körper bei derselben Temperatur zu leuchten beginnen, folgt weder aus den Draper'schen Versuchen, noch kann es aus dem Kirchhoff'schen Gesetze abgeleitet werden, es ist überhaupt unrichtig.

Verhältnissmässig sehr kurz weggekommen ist die so überaus wichtige Ermittelung der Funktion des Kirchhoff'schen Gesetzes. Ihr werden in einem die Arbeiten im Ultraroth besprechenden Paragraph, *S. 127*, nur zwei Sätze gewidmet, wobei nur die Namen Paschen, Wien und Stefan genannt werden. Vor Allem vermisst man aber einen Hinweis darauf, dass zuerst durch Wien und Lummer (*Wied. Ann.* **56.** *S. 451. 1895*) die theoretisch einwandsfreie schwarze Strahlung dem Experiment zugänglich gemacht worden ist, eine Thatsache, die sicherlich der Erwähnung werth war, da doch erst durch diese Herstellung des wirklich schwarzen Körpers die Grundlage für sichere systematische Forschungen von bleibendem Werth geschaffen wurde.

Das *zweite Kapitel* handelt von der Erzeugung leuchtender Dämpfe und umfasst 122 S. In drei Abschnitten werden die Flammen, der galvanische Lichtbogen und die elektrischen Entladungen besprochen. In dem lange gefärbte Flammen behandelnden Paragraph, *S. 146*, in welchem hauptsächlich von den Natriumlampen die Rede ist, vermisst der Ref. einen Hinweis auf die von du Bois (*diese Zeitschr.* **12.** *S. 165. 1892*) und Gumlich (*diese Zeitschr.* **16.** *S. 111. 1896*) angegebenen Intensivnatronbrenner. Die von diesem empfohlenen gegossenen Sodastangen von etwa 6 *mm* Dicke entwickeln schon im Bunsen'schen Brenner und noch mehr im Linnemann'schen Sauerstoffgebläse verflüchtigt eine sehr hohe Leuchtkraft. Hierbei treten keine störenden Dämpfe auf, und stellt man den Linnemann'schen Brenner geräuschlos, so verbrennen die Sodastifte so langsam, dass es während einer Zeit von 30 bis 40 Minuten meist nicht nöthig ist, die Stellung des Stiftes zu ändern (vgl. *diese Zeitschr.* **20.** *S. 104. 1900*). Ein mit Sodastange versehener Brenner ist entschieden die bequemste und sauberste Natriumlichtquelle, die wir zur Zeit besitzen.

Das 144 S. umfassende *dritte Kapitel* über die Prismen ist von H. Konen geschrieben. Im ersten Abschnitt wird nach Czapski's bekannter „Theorie der optischen Instrumente" eine ausführliche Theorie der Prismen gegeben, im zweiten Abschnitt die Konstruktion der Prismen behandelt. Hier lautet in dem von der Absorption der Gläser handelnden Paragraph, *S. 367*, ein Absatz folgendermaassen: „Im Ultraroth beginnt die Absorption ebenfalls an verschiedenen Stellen je nach der Zusammensetzung des Glases; bis 4 μ etwa sind die meisten Gläser noch durchsichtig. Das Gleiche findet dann auch für die äussersten Wärmestrahlen statt, welche Rubens und Aschkinass erreicht haben". Letzterer Satz ist nicht verständlich, da nach Rubens und Aschkinass (*Wied. Ann.* **65.** *S. 241. 1898*) sich Glas für die Reststrahlen von Steinsalz und Sylvin als völlig undurchlässig erweist.

Das *vierte Kapitel*, das 92 S. lang ist, handelt von den Diffraktionsgittern. Im ersten Abschnitt findet sich die Herstellung der Gitter mitgetheilt, dem die Leser dieser Zeitschrift ein ganz besonderes Interesse entgegenbringen werden. Zum ersten Male wird hier nämlich eine eingehende Beschreibung der berühmten Theilmaschine Rowland's nebst einer Photographie derselben gegeben. Rowland selbst hat nie etwas Genaueres über die Konstruktion seiner Maschine veröffentlicht; es ist daher wichtig, in dem Buche endlich nähere Angaben über diese Maschine zu finden, die zu studiren der Verf. Gelegenheit hatte und die die erstaunliche Leistung fertig bringt, auf einer Fläche von etwa 14 *cm* Breite 110 000 parallele Linien in gleich grossen Abständen zu ziehen.

In drei weiteren Abschnitten werden die ebenen Gitter, die Konkav- und Stufengitter besprochen. Im Abschnitt über die Konkavgitter ist von hohem Interesse die Theorie der Konkavgitter nach Runge. Letzterer hat dieselbe im Jahre 1888 niedergeschrieben, bisher aber noch nicht veröffentlicht. Einen Auszug von dieser Theorie hat Kayser seinerzeit im „Handbuch der Physik" gebracht; im vorliegenden Handbuch wird sie nunmehr ausführlich gegeben. Von den verschiedenen für das Konkavgitter entwickelten Theorien dringt die Runge'sche Darstellung wohl am tiefsten in die Erscheinungen ein.

Das *fünfte Kapitel* handelt von den spektroskopischen Apparaten und umfasst 202 S. In sieben Abschnitten werden behandelt: die Konstruktion der Spektroskope, die Theorie der Spektroskope, die Benutzung der Interferenzfransen, die Empfindlichkeit des Auges, die photographischen Methoden und Apparate, die Benutzung von Fluoreszenz und Phosphoreszenz, die Benutzung der Wärmewirkung der Strahlen.

Hiervon ist dem Verf. der dritte Abschnitt über die Benutzung der Interferenzfransen nicht gut gelungen. Derselbe ist ungenau und schwer verständlich geschrieben, was hauptsächlich davon kommt, dass zwischen den Interferenzkurven gleicher Dicke (den Fizeau'schen Streifen) und den Interferenzkurven gleicher Neigung (den Haidinger'schen Ringen) nicht unterschieden wird. Unter Anderm ist es aus der Darstellung des Verf. gar nicht ersichtlich, dass sich sowohl das Interferometer von Michelson als auch das von Fabry und Perot auf die Methode der Haidinger'schen Interferenzringe gründet. Während die sämmtlichen auf diesen Gegenstand bezüglichen Publikationen von Michelson, Fabry und Perot angeführt werden, finden sich die Namen Haidinger und Lummer gar nicht erwähnt; bekanntlich hat Letzterer zuerst und unabhängig von Neuem die Haidinger'schen Ringe ausführlich theoretisch und experimentell behandelt (*Wied. Ann.* **23.** *S. 49. 1884*). Auch findet sich in dem von den Newton'schen Ringen, also Kurven gleicher Dicke, handelnden Paragraph *S. 584* noch der Irrthum, eine absolut homogene Spektrallinie müsse Interferenzen von unendlich hohen Gangunterschieden zu erzeugen gestatten; Lummer (*Wied. Ann.* **23.** *S. 77. 1884*) hat schon längst die Unrichtigkeit dieser Meinung nachgewiesen und gezeigt, dass es nur bei den Kurven gleicher Neigung möglich sei, den Gangunterschied beliebig gross zu machen, sobald die Lichtquelle absolut homogenes Licht aussendet und ein Aethertheilchen unendlich lange gleichmässig schwingt. Die wenig befriedigende Darstellung dieses dritten Abschnitts muss um so mehr verwundern, als das gleiche Thema bereits durch Lummer klar und präzis zusammenhängend behandelt worden ist (Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1897. Bd. II. Abth. I. *S. 910 bis 940*).

Auch an einigen Paragraphen des siebenten Abschnitts über die Benutzung der Wärmewirkung der Strahlen sind Aussetzungen zu machen. In dem das Paschen'sche Spiegelspektrometer behandelnden Paragraph, *S. 676*, heisst es: „In der ersten Arbeit bringt Paschen (*Wied. Ann.* **48.** *S. 272. 1893*) eine scheinbar kleine, in Wahrheit aber sehr wesentliche Verbesserung des Spektrobolometers: er ersetzt in ihm die Linsen von Kollimator und Fernrohr durch Silberspiegel", und in einer Anmerkung: „Die Benutzung der Spiegel statt der Linsen ist seitdem ziemlich allgemein angenommen worden, ihre Einführung wird aber meist fälschlich Rubens zugeschrieben, siehe z. B. A. Donath, *Wied. Ann.* **58.** *S. 610. 1896.*" Allerdings irrt Donath, wenn er die Ersetzung der Linsen durch Silberspiegel Rubens zuschreibt, ebenso aber auch Kayser, wenn er behauptet, diese wesentliche Verbesserung sei von Paschen eingeführt worden. Dieser Irrthum Kayser's ist um so auffälliger, weil Paschen selbst in der oben zitirten Arbeit *S. 274* sagt: „Die Spektralanordnung ist derjenigen ähnlich, welche Hr. E. Pringsheim (*Wied. Ann.* **18.** *S. 32. 1883*) beschrieben hat". Thatsächlich hat Pringsheim bei seinen Arbeiten im ultrarothen Sonnenspektrum die Linsen durch einen Silber-Hohlspiegel ersetzt. Ob nun aber Pringsheim wirklich der erste war, der dies gethan hat, weiss der Ref. nicht.

In dem von der Absorption durch Russ und Platin handelnden Paragraph beginnt ein Absatz *S. 687* mit den Worten: „Eingehende Messungen über die Emission und Absorption durch Russschichten variabler Dicke und durch Schichten von Platinmohr . . . führt Kurl-

baum (*Wied. Ann.* **67.** *S. 846. 1899*) aus." und schliesst: „Man sieht die grosse Ueberlegenheit des Russes bis zu einer gewissen Dicke, von wo an die schlechte Wärmeleitung zu stören beginnt". Dieser Satz kann leicht missverständlich dahin ausgelegt werden, dass das Arbeiten mit Russ dem mit Platin vorzuziehen sei. Letzteres ist aber durchaus nicht der Fall, denn mit Recht kommt Kurlbaum in seiner Arbeit zu dem Schluss, dass für alle Untersuchungen Platinschwarz besser als Russ sein dürfte. Auch hätte an dieser Stelle wohl noch Villari erwähnt werden müssen, der als erster eingehend Russschichten von verschiedener Dicke untersucht hat (siehe Winkelmann, Handbuch der Physik. Breslau, E. Trewendt 1896. Bd. II. Abth. II. *S. 181*).

Der das absolut schwarze Bolometer behandelnde Paragraph *S. 687* beginnt folgendermaassen: „Man gelangt so also zu sehr stark absorbirenden Schichten, aber wie viel noch die selektive Reflexion ausmachen kann, ist bisher nicht genügend untersucht. Vielmehr hat man einen anderen Weg einzuschlagen gewusst, der über alle Schwierigkeiten forthilft: man verwandelt das Bolometer in einen absolut schwarzen Körper, indem man es in einen Hohlraum mit spiegelnden Flächen einschliesst." und schliesst im ersten Absatz mit den Worten: „Von Paschen (*Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1899. S. 405 u. 959*) ist ein derartiges Bolometer angewandt". Anstatt „Vielmehr hat *man* einen anderen Weg einzuschlagen gewusst" hätte der Verf. bestimmter und richtiger schreiben sollen: „Vielmehr haben Wien und Lummer (*Wied. Ann.* **56.** *S. 451. 1895*) einen anderen Weg einzuschlagen gewusst". In dieser letztzitirten Abhandlung „Methode zur Prüfung des Strahlungsgesetzes absolut schwarzer Körper" wird nämlich sowohl die Herstellung des absolut schwarzen Körpers als auch die des absolut schwarzen Bolometers zuerst beschrieben. Es ist eigenthümlich, dass diese zwar nur $5^1/_4$ S. lange, aber für die Strahlungsmessungen so überaus wichtige Abhandlung von Wien und Lummer vom Verf. nirgends erwähnt wird.

Ebenso ist der Satz „Von Paschen ist ein derartiges Bolometer angewandt." auffallend, denn vor Paschen haben schon längst Lummer und Pringsheim mit dem absolut schwarzen Bolometer gearbeitet: man vergleiche *diese Zeitschr.* **18.** *S. 144. 1898*, wo es in dem Thätigkeitsbericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt für das Jahr 1897 heisst: „Es befindet sich das Bolometer in Gestalt einer Bolometer-Wand in der Mittelpunktsebene einer im Innern versilberten und hochpolirten Halbkugel (Lampenglocke), durch deren Oeffnung die Strahlung so eintritt, dass sie die ganze Bolometerwand direkt trifft".

Im *sechsten Kapitel* endlich, das 66 S. umfasst, werden die spektroskopischen Messungen der Wellenlängen von Spektrallinien dargestellt. Mit grosser Sachkenntniss werden in zwei Abschnitten die absoluten und relativen Messmethoden und Bestimmungen besprochen.

Sehr sorgfältig hergestellt ist das Autoren- und Sachregister und das ausführliche Inhaltsverzeichniss, in welchem der Inhalt jedes der 655 Paragraphen mit wenigen Worten angedeutet wird. Das Buch ist daher seinem Zweck entsprechend bequem als Nachschlagebuch zu benutzen. *Schck.*

P. Weselsky u. R. Benedikt, 30 Uebungsaufgaben als erste Anleitg. zur quantitativen Analyse. 3. Aufl., neu bearb. v. Prof. Dr. Geo. Vortmann. gr. 8°. VII, 39 S. m. Abbildgn. Wien, F. Deuticke 1902. 1,25 M.

H. v. Helmholtz, Vorlesgn. üb. theoretische Physik. Hrsg. v. A. König, O. Krigar-Menzel, F. Richarz, C. Runge. II. Bd. Lex. 8°. Leipzig, J. A. Barth.

II. Dynamik kontinuirlich verbreiteter Massen. Hrsg. v. O. Krigar-Menzel. VIII, 247 S. m. 9 Fig. im Text. 1902. 12,00 M.; geb. 13,50 M.

J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. gr. 8°. XXVIII, 509 S. m. 144 Abbildgn. Leipzig, J. A. Barth 1902. 12,00 M.; geb. in Leinw. 13,00 M.

W. Ostwald u. R. Luther, Hand- u. Hülfsbuch zur Ausführg. physiko-chemischer Messungen. 2. Aufl. gr. 8°. XII, 492 S. m. 319 Fig. Leipzig, W. Engelmann 1902. Geb. in Leinw. 15,00 M.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied,
Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **November 1902.** Elftes Heft.

Anwendung der Hartmann'schen Methode der Zonenprüfung auf astronomische Objektive. II.

Von

Dr. **Hans Lehmann** in München.

(Mittheilung aus der optisch-astronomischen Werkstätte von C. A. Steinheil Söhne.)

Nachdem in einem früheren Aufsatz (*diese Zeitschr.* ***22.*** *S. 103. 1902*) über die Brauchbarkeit der Hartmann'schen Methode im Allgemeinen berichtet wurde, soll jetzt Einiges über ihre Genauigkeit und ihre Anwendbarkeit für feinere Messungen mitgetheilt werden.

1. *Genauigkeit der Methode.* Von einem Objektiv mit dem Oeffnungsverhältniss $\frac{O}{F} = \frac{108}{2160}$ *mm* wurden in drei von einander unabhängigen Untersuchungen die Fokusdifferenzen von 5 Zonen ermittelt. Dabei ergab sich folgendes Resultat.

Zone	$\frac{O}{F}$	Mittl. Fehler der einzelnen Beobachtung	In Einheiten der Brennweite F
1	1/23	± 0,079 *mm*	± 0,000037 F
2	1/26	± 0,074 „	± 0,000034 „
3	1/38	± 0,154 „	± 0,000071 „
4	1/56	± 0,171 „	± 0,000074 „
5	1/116	± 0,376 „	± 0,000174 „

Man sieht hieraus deutlich, dass der mittlere Fehler eine Funktion der relativen Oeffnung der untersuchten Zone ist, und zwar nimmt seine Grösse mit zunehmender Oeffnung ab. Es ist auch von Wichtigkeit, dass gerade die Randzone eines Objektives mit grösserer Genauigkeit untersucht wird, da schon eine geringe Abweichung dieser Zone die Grösse des Bildpunktes erheblich beeinflusst, wie aus der geometrischen Formel für den Durchmesser des Bildpunktes folgt:

$$B = \frac{O}{F} \cdot \Delta F.$$

Aus obiger Tabelle geht hervor, *dass man die Fokusdifferenzen der Randzone eines Objektivs von F/20 Oeffnung mit einer Genauigkeit von etwa ± 3 Hunderttausendsteln der Brennweite bestimmen kann, für eine mittlere Zone oder im Mittel für alle Zonen mit einer Genauigkeit von etwa ± 7 Hunderttausendsteln der Brennweite.*

Zur Untersuchung des genannten Objektivs wurde eine künstliche Lichtquelle verwendet und die erhaltenen Differenzen der Vereinigungsweiten wurden zur Ermittlung der Fokusdifferenzen in folgender Weise reduzirt.

Bezeichnet man mit a den Objektabstand, mit b den Bildabstand, so gilt

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

oder

$$F = \frac{a\,b}{a+b}.$$

Daraus folgt die Abhängigkeit der Aenderung der Brennweite von der Aenderung des Bildabstandes

$$\frac{\Delta F}{\Delta b} = \begin{cases} \left(\frac{a}{a+b}\right)^2 \\ \left(\frac{a-F}{a}\right)^2 \\ \left(\frac{F}{b}\right)^2 \end{cases}$$

Man muss also die Differenz Δb der Bildweite mit $\left(\frac{a}{a+b}\right)^2$ oder $\left(\frac{a-F}{a}\right)^2$ oder $\left(\frac{F}{b}\right)^2$ multipliziren, um in erster Annäherung die entsprechende Fokusdifferenz ΔF zu erhalten. Am Besten wird man wohl den Faktor $\left(\frac{a-F}{a}\right)^2$ wählen, da der Objektabstand a einmal genauer bestimmbar ist und auch für die meisten Untersuchungen konstant gewählt werden kann.

Es war nun von Interesse, Untersuchungen zu vergleichen, welche bei endlichem und unendlichem Objektabstand, also mit künstlichem Licht und Sternenlicht ausgeführt wurden. Zu diesem Zwecke untersuchte ich mehrere Objektive von 300 bis 330 *mm* Oeffnung und etwa 4,5 bis 5 *m* Brennweite erst mit dem sog. „künstlichen Stern“ in unserer Werkstätte, dann am grossen Refraktor der Steinheil'schen Sternwarte. Der Vergleich der beiden Messungen eines jeden Objektivs ergab als Mittel für alle Zonen einen mittleren Fehler der einzelnen Beobachtungen von $\pm$ 7 Hunderttausendsteln der Brennweite bei der Bestimmung der Fokusdifferenzen, Resultate, die mit dem oben angeführten gut übereinstimmen. Auch bei der Untersuchung kleiner Objektive bis 300 *mm* Brennweite ist diese Genauigkeitsgrenze erreicht worden.

2. *Anwendbarkeit der Methode auf feinere Messungen.* Auf Grund dieser beträchtlichen Genauigkeit der Hartmann'schen Methode ist es gestattet, diese Methode auch bei den feinsten Messungen zu Hülfe zu nehmen, wo es darauf ankommt, ganz geringe Beeinflussungen des Strahlenganges in optischen Systemen nachzuweisen. Folgende Beispiele mögen als Erläuterung derartiger Untersuchungen dienen.

a) *Beeinflussung des Strahlenganges durch die Verkittung.* Schon längst hat man erkannt, dass durch Verkittung von Gläsern mit verschiedener Brechung und Dispersion und damit auch mit verschiedenen Temperaturkoeffizienten der Strahlengang in ungünstiger Weise beeinflusst wird, indem Verspannungen eintreten, welche die planen oder sphärischen Flächen deformiren. Wo es daher auf feinste Definition der durch das optische System erzeugten Bilder ankommt, verwendet man thunlichst Systeme mit unverkitteten Flächen; so bedient man sich z. B. bei den Sternspektrographen mehrerer einfacher Prismen anstatt eines zusammengesetzten verkitteten u. s. w. Früher hat man auch grössere astronomische Objektive bis zu 10 Zoll Oeffnung mit verkitteten Flächen hergestellt, was jetzt nur noch selten geschieht. Wie verfehlt es ist, grosse Flächen zu verkitten, soll folgendes Beispiel zeigen. Fig. 1 giebt die Kurve der Fokusdifferenzen der verschiedenen Zonen eines dreitheiligen 6-Zöllers von etwa 2,3 *m* Brennweite mit unverkitteten Flächen wieder, wobei als Abszissen die relative Oeffnung der untersuchten Zonen und als Ordinaten die Fokusdifferenzen in Zehntausendsteln[1])

[1]) Leider sind in den Diagrammen des früheren Aufsatzes, *a. a. O. S. 105 u. 107*, aus Versehen die Ordinaten mit $10^5 \Delta F/F$ anstatt mit $10^4 \Delta F/F$ bezeichnet worden, was hiermit berichtigt wird.

der Brennweite aufgetragen sind. Fig. 2 stellt denselben 6-Zöller mit zwei verkitteten Flächen dar.

Nach meinen früheren Erörterungen (*a. a. O. S. 109*) repräsentirt die Konstante A der mechanisch-sphärischen Aberration die technische Güte eines Objektivs, und zwar in der Weise, dass für ein ideales Objektiv A sich dem Grenzwerth Null nähert. A berechnet sich aus dem aus allen Zonenabweichungen ΔF resultirenden mittleren (geometrischen) Bildpunkt B[1]), ausgedrückt in Zehntausendsteln der Brennweite, unter Berücksichtigung der *Helligkeit* einer jeden untersuchten Zone. Um auch Objektive mit sehr verschiedener relativer Oeffnung mit einander vergleichen zu können, dividire ich den so erhaltenen Werth noch durch das Oeffnungsverhältniss (entgegen der Ausführung im vorigen Aufsatz), sodass man bekommt

$$A = \frac{B}{F} \cdot \frac{F}{O} \cdot 10^4 = \frac{B}{O} \cdot 10^4 .$$

Aus einer grossen Anzahl von Messungen an guten Objektiven hat sich für A der Mittelwerth 1,000 ergeben.

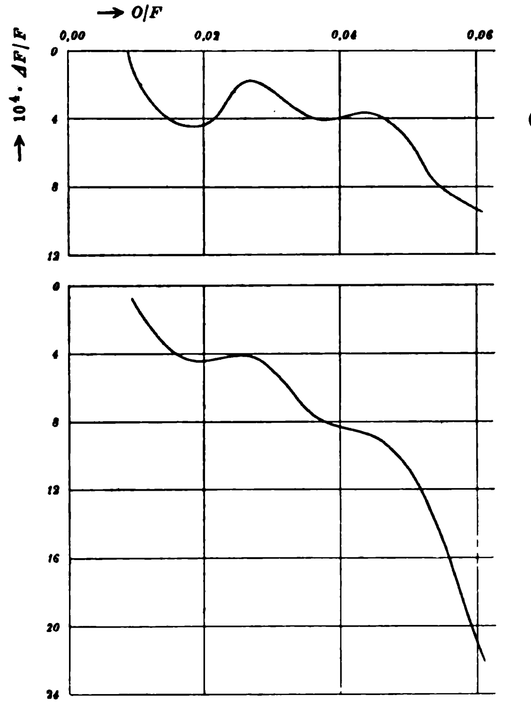


Fig. 1.
6-Zöller mit unverkitteten Flächen.
$B = 0{,}024$ *mm*
$A = 1{,}473.$

Fig. 2.
6-Zöller mit verkitteten Flächen.
$B = 0{,}070$ *mm*
$A = 4{,}326.$

Die neben den Kurven angegebenen Werthe für B und A zeigen, dass *durch das Verkitten zweier Flächen dieses Objektivs sein Auflösungsvermögen für monochromatisches Licht genau auf den dritten Theil herabgedrückt wird.*

Auch bei kleinen Objektiven ist der Einfluss der Verkittung mit der Hartmann'schen Methode recht gut nachzuweisen. So wurden z. B. bei einem älteren Fernrohrobjektiv von 40 *mm* Oeffnung für die Konstante A die Werthe 5,000 bezw. 6,906 vor bezw. nach der Verkittung ermittelt (das Objektiv hatte recht schlechte Flächen, daher der hohe Werth von A)[2]).

b) *Einfluss der Fassung.* Damit die Theile eines Objektivs im Rohr und auch unter sich genau auf der optischen Achse zentrirt sind, ist es unerlässlich, dass die

[1]) Bei einer Einstellung für den kleinsten mittleren Bildpunkt.

[2]) Durch „Retouchiren" dieses Objektives wurde der Werth von A bis auf 1,497 heruntergebracht.

Fassung des Objektivs demselben genau angepasst und gut abgedreht wird. Andernfalls machen sich Fehler wie Astigmatismus in der Achse u. s. w. bemerkbar. Einen derartigen Fall konnte ich an einem optischen Objektiv von 36 *cm* Oeffnung und etwa 5,2 *m* Brennweite beobachten. Dieses Objektiv wurde zunächst in einer provisorischen Holzfassung geprüft, die in unserer Schreinerei hergestellt worden war. Die üblichen visuellen Untersuchungen ergaben ein recht gutes Resultat, dagegen zeigte die nach der Hartmann'schen Methode angestellte Prüfung für sämmtliche[1]) Zonen ein wenig Astigmatismus in der Achse, dessen Position sich mit Sicherheit bestimmen liess; die Fokusdifferenz in der maximalen und minimalen Krümmung der astigmatischen Wellenfläche betrug für jede Zone 3 bis 4 Zehntausendstel der Brennweite. Durch geringe translatorische und rotatorische Bewegungen der beiden Objektivtheile gegen einander sowie durch Verspannungen in Folge unzweckmässigen Befestigens in der Fassung können aber noch andere Komplikationen eintreten, die sich im Ganzen durch Fokusdifferenzen der Zonen unter einander bemerkbar machen. In welcher Weise sich dieser Einfluss zeigt, stellen die Fig. 3 und 4 dar, wo die Messungs-

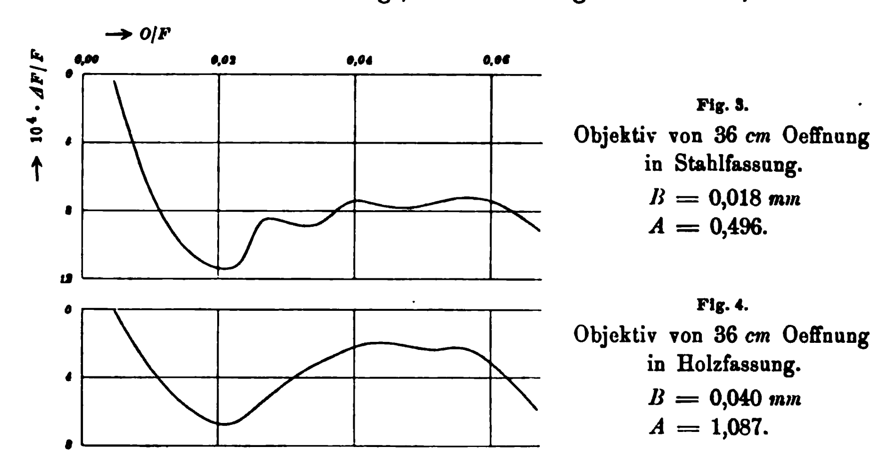


Fig. 3.
Objektiv von 36 *cm* Oeffnung in Stahlfassung.
$B = 0{,}018$ *mm*
$A = 0{,}496$.

Fig. 4.
Objektiv von 36 *cm* Oeffnung in Holzfassung.
$B = 0{,}040$ *mm*
$A = 1{,}087$.

resultate an obengenanntem Objektiv in Holz- und Stahl-Fassung verglichen sind. Aus den Werthen für die Konstante der mechanisch-sphärischen Aberration geht hervor, dass das Auflösungsvermögen des Objektivs für monochromatisches Licht durch gute Zentrirung und richtige Fassung etwa auf das Doppelte erhöht worden ist.

c) *Einfluss der Zwischenlage.* Nach der eigenthümlichen Art und Weise der technischen Herstellung vollkommen sphärischer und auch planer Flächen ist es leicht begreiflich, dass die Randzone der Objektive in den allermeisten Fällen eine stärkere Krümmung aufweisen wird, als die mittleren Zonen, was ich auch in der That bei allen Objektivprüfungen, die ich bisher nach der Hartmann'schen Methode vornahm, nachweisen konnte. Einer der Wege, den Fehler zu beseitigen, ist die „Retouche", wofür ich im früheren Aufsatz ein Beispiel gab (*a. a. O. S. 105*). Dieses Verfahren ist natürlich besonders für Objektive grösserer Dimensionen das rationellste und lässt sich mit der Hartmann'schen Methode bis ins Feinste verfolgen.

Bei vielen Objektiven nun stellt sich die Kurve der Brennweiten der Zonen von der Mitte nach dem Rande hin als eine „monoton sinkende" dar, eben in Folge der Herstellungsweise des Objektivs, sodass es den Anschein hat, als wäre das Objektiv sphärisch unterkorrigirt, ein Fehler, der laut Rechnung aber doch nicht stattfindet. In diesem Falle nun kann man die Zonenfehler bei unverkitteten Objektiven

[1]) Es wurden 12 Zonen untersucht.

dadurch mit Erfolg beseitigen, dass man die Zwischenlage entsprechend dicker wählt, als es die Berechnung erfordert[1]). Als Beispiel hierfür sei das Prüfungsresultat eines zweitheiligen Objektives von 40 *mm* Oeffnung und 60 *cm* Brennweite angeführt. Fig. 5 zeigt die Kurve der Fokusdifferenzen dieses Objektivs mit einer Zwischenlage von etwa 1 *mm* Dicke zwischen der Flint- und Crown-Linse, während Fig. 6 dasselbe Objektiv mit einer Zwischenlage von etwa 0,2 *mm* darstellt.

Es zeigt sich also, dass die Verstärkung der Zwischenlage die Leistungsfähigkeit des Objektives ziemlich auf das Doppelte erhöht hat. Besonders bei Spektrographen-Objektiven ist eine derartige leicht auszuführende Verbesserung recht werthvoll, wo die höchste Leistungsfähigkeit in Bezug auf Auflösungsvermögen für monochromatisches Licht verlangt wird.

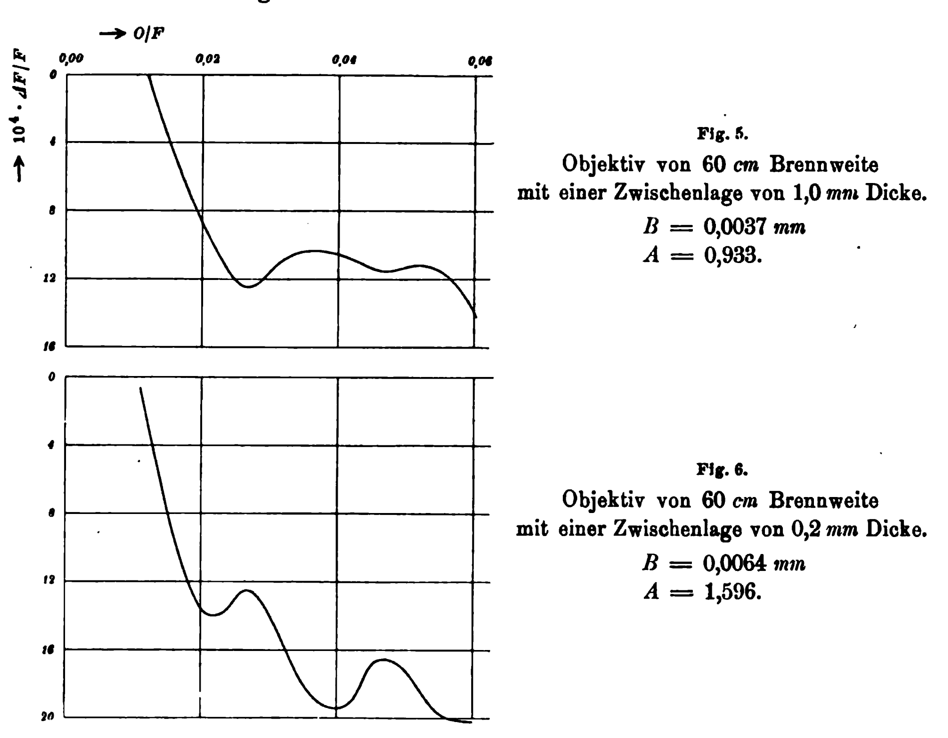


Fig. 5.
Objektiv von 60 *cm* Brennweite
mit einer Zwischenlage von 1,0 *mm* Dicke.
$B = 0{,}0037$ *mm*
$A = 0{,}933$.

Fig. 6.
Objektiv von 60 *cm* Brennweite
mit einer Zwischenlage von 0,2 *mm* Dicke.
$B = 0{,}0064$ *mm*
$A = 1{,}596$.

d) *Prüfung von Planparallelgläsern, Farbfiltern u. s. w.* Bei der Herstellung von Planflächen werden gewöhnlich die sogenannten „Probegläser" zur Prüfung angewendet. Diese Methode gestattet jedoch nur die äussere Form (bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit) zu untersuchen, während es bei *Planparallelgläsern* oft darauf ankommt, dass die Glasmasse die vollkommenste Homogenität zeigt, wie z. B. bei Interferenzversuchen mit vielfacher innerer Reflexion u. s. w. Hier würden die üblichen visuellen Prüfungsmethoden (Prüfung nach der Schlierenmethode und im Polariskop) versagen, während die Hartmann'sche Methode hierzu wohl ausreicht. Die Prüfung geschieht so, dass man das Planparallelglas in Verbindung mit einem Objektiv prüft, dessen Fokusdifferenz der Zonen bekannt ist. Durch Subtraktion der so erhaltenen Kurve der Fokusdifferenz des Systems Objektiv plus Planparallelglas von der bekannten des Objektivs allein erhält man dann die Abweichungen, welche das Planparallelglas allein hervorbringt. Die Genauigkeit hängt natürlich von der Brennweite des Objektivs ab, und zwar wächst sie mit der Grösse der Brennweite.

[1]) Nach einem Vorschlage des Hrn. Prof. Dr. Hartmann.

Auch *Planspiegel* können auf diese Weise mit grosser Genauigkeit auf Verspannung, Astigmatismus, Zonenfehler u. s. w. untersucht werden.

Ferner kann man die Hartmann'sche Methode auch zur Prüfung von *planparallelen Farbfiltern* mit Vortheil anwenden, wie sie in der Photographie für den Dreifarbendruck u. s. w. gebraucht werden. Als Beispiel hierfür sei folgende Untersuchung angeführt. Eine Farbschicht mit dem Durchlässigkeitsgebiet von A bis C wurde zwischen zwei Planparallelgläsern von dem Durchmesser 80 *mm* eingeschlossen und das Ganze in guter Fassung mit einem Fernrohrobjektiv von der Oeffnung von 80 *mm* und der Brennweite von 130 *cm* verbunden. Fig. 7 zeigt das Resultat der Prüfung von Objektiv und Filter, Fig. 8 die Kurve der Fokusdifferenz des Objektivs allein und Fig. 9 die Kurve des Rothfilters allein, sämmtliche Abweichungen ΔF wie früher in Zehntausendsteln der Brennweite ausgedrückt. Ausserdem zeigte das Filter starke astigmatische Fokusdifferenz von etwa $F/200$ (was in nebenstehenden Kurven nicht sichtbar ist), die in Folge der Verspannung durch das Zusammenkitten entstanden ist. In Verbindung mit einem photographischen Objektiv würde das Filter

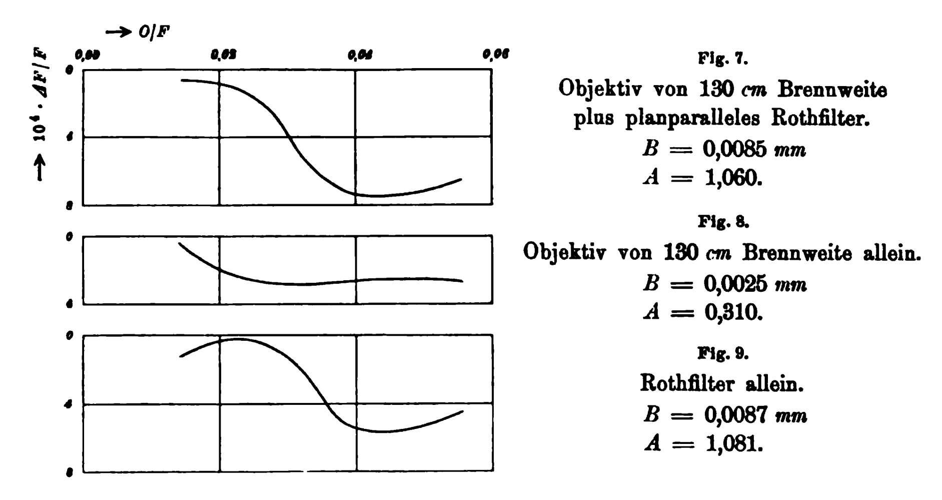


Fig. 7.
Objektiv von 130 *cm* Brennweite plus planparalleles Rothfilter.
$B = 0{,}0085$ *mm*
$A = 1{,}060.$

Fig. 8.
Objektiv von 130 *cm* Brennweite allein.
$B = 0{,}0025$ *mm*
$A = 0{,}310.$

Fig. 9.
Rothfilter allein.
$B = 0{,}0087$ *mm*
$A = 1{,}081.$

jedoch noch gute Resultate ergeben, da an diese Objektive in Folge ihrer grossen relativen Oeffnung keine so grosse Anforderung in Bezug auf das Auflösungsvermögen u. s. w. gestellt werden kann.

Zum Schlusse möchte ich noch bemerken, dass der am Ende meines früheren Aufsatzes (*a. a. O. S. 109*) stehende Satz: „Man würde dann für diesen Fall das Objektiv nur sphärisch vollkommen korrigiren und mit sehr grosser relativer Oeffnung herstellen" leicht zu Missdeutungen Anlass geben könnte. Nur aufs Vollkommenste sphärisch, aber *nicht* chromatisch korrigirte Objektive wird man nach dem Vorschlage von Hrn. Prof. Dr. Hartmann mit Vortheil als Kameraobjektive in Spektrographen verwenden. Dagegen wird die durch die Hartmann'sche Methode jetzt ermöglichte Herstellung sphärisch gut korrigirter Objektive von ungewöhnlich grossem Oeffnungsverhältniss sowohl für direkte photographische Aufnahmen, als auch für Okularbeobachtungen selbstverständlich die chromatische Korrektion solcher Objektive nicht entbehrlich machen, sondern im Gegentheil auch *eine besonders sorgfältige* Achromatisirung erfordern, wenn die Leistungsfähigkeit derselben wirklich zur Geltung kommen soll. Nur zur Unterstützung dieses Erfolges werden in gewissen Fällen Farbfilter gute Dienste leisten durch Auslöschung des sekundären Spektrums.

Neues Krystallrefraktometer zur Bestimmung grösserer und mikroskopisch kleiner Objekte.

Von
C. Leiss in Steglitz bei Berlin.
(Mittheilung aus der R. Fuess'schen Werkstätte.)

Das neue Krystallrefraktometer beruht auf dem bewährten Abbe'schen Prinzip der Bestimmung des Grenzwinkels mit Hülfe einer Halbkugel aus starkbrechendem Glase. Es gleicht dementsprechend in seinen Haupttheilen im Wesentlichen jedem anderen nach diesem Prinzip konstruirten Refraktometer.

Die wichtigste Neuerung an diesem Instrumente ist die Konstruktion, welche bezweckt, auch kleine, selbst im Dünnschliff eingeschlossene Mineralplättchen der Messung in bequemer Weise zugänglich zu machen. Dies war die hauptsächlichste von C. Klein[1]) an das Instrument gestellte Anforderung, damit dasselbe dem praktischen Mineralogen als ein im weitesten Umfang brauchbares instrumentelles Hülfsmittel zur Bestimmung des Brechungsexponenten zu dienen vermag. Es gelang, die Vorzüge und bewährten Methoden und Einrichtungen verschiedenartiger Instrumente zu diesem Zweck in einem Instrument zu vereinigen. Als Reflexions- und Brechungskörper wurde die Bertrand-Abbe'sche Halbkugel gewählt; ihre Vorzüge allen anderen Methoden gegenüber sind bekannt. Es seien nur als die hervorragendsten genannt: Nahezu vollständige Unveränderlichkeit gegenüber schädlichen Temperaturschwankungen, Bequemlichkeit und Eleganz der Art des Messverfahrens, direkte Ablesung des Grenzwinkels sowie einfache und bequeme Kontrole der Justirung der Halbkugel.

Um sehr kleine Krystalle und auch Krystallplättchen im unbedeckten Dünnschliff ohne vorherige umständliche Präparation, wie Abdecken der Umgebung durch Lack, Metallscheibchen u. s. w., der Messung zugänglich zu machen, war es nöthig, zweierlei Bedingungen in der Konstruktion zu erfüllen.

1. Es musste behufs exakter Zentrirung dieser kleinen Krystalle oder Mineraleinschlüsse im Dünnschliff das Instrument mit einem Mikroskop verbunden werden. Dies geschah im Gegensatz zu dem früher von C. Klein (*Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1898. S. 325*) beschriebenen Instrument, welches mit einem feststehenden Mikroskop und einem Fernrohr ausgestattet war, durch die Konstruktion eines einzigen Beobachtungsrohres, welches Mikroskop und Fernrohr vereinigt.

2. Es musste, nachdem mittels der direkten Mikroskop-Beobachtung das Objekt zentrirt war, in geeigneter Weise alles störende Licht für die Messung abgeblendet werden. C. Klein hat dies bei seinen früheren Totalreflektometern durch Abdecken mittels Lack oder Metallblenden am Präparat selbst erreicht, während Pulfrich[2]) sich einer in der Ebene der Austrittspupille des Fernrohrokulares angebrachten Blendscheibe mit mehreren kleinen Oeffnungen bediente. Wallerant[3]) verbindet bei seinem als Attribut des Mikroskopes dienenden Totalreflektometer bereits Fernrohr und Mikroskop in einem Rohr und benutzt dabei zur Abblendung auch die Irisblende. Aber die Anwendung des Prismas als Brechungskörper beim Wallerant'schen Instrument einerseits und die Anwendung desselben in Verbindung mit einem Mikroskop erschwert das bequeme und praktische Arbeiten doch ausser-

[1]) Vgl. *Sitzungsber. der Berl. Akad. 1902. S. 113 u. S. 653.*
[2]) *Diese Zeitschr.* **19.** *S. 4. 1899.*
[3]) *Bull. de la Soc. franç. de Minéral.* **20.** *S. 211. 1897.*

ordentlich. Es kommt noch dazu, dass das Wallerant'sche Instrument durchaus nicht ohne Weiteres, wie dies z. B. Weinschenk[1]) annimmt, gebraucht werden kann, sondern es ist in jedem Falle nöthig, den Mikroskoptubus erst in der von Wallerant angegebenen Art umzugestalten, was bei den meisten Tuben gar nicht oder nur schwer möglich ist.

In welcher Weise in der vorliegenden Konstruktion die vorstehend aufgeführten Forderungen erfüllt wurden, zeigt Fig. 1, welche einen Hauptschnitt durch das neue Fernrohr darstellt.

Beschreibung des Fernrohres bezw. Mikroskopes. Der bequemen Beobachtung wegen ist das Fernrohr ein „gebrochenes". *Ob* ist das Objektiv, dessen Bildebene durch ein × in Fig. 1 markirt ist, *Oc* ist das aus einer Linse bestehende Okular, *P* das totalreflektirende Prisma, *N* ein aus- und einschaltbares und mittels eines Knöpfchens drehbares Nicol'sches Prisma, *J* die in der Austrittspupille des Okulares befindliche Irisblende; *L* ist eine aus zwei Linsen bestehende Vorschlaglupe, wie sie bereits von Czapski und Pulfrich für einen ähnlichen oder gleichen Zweck angewandt wurde.



Fig. 1.

Dieselbe ist in einer Hülse verschiebbar und kann mittels eines Gelenkarmes rasch vor die Irisblende geklappt oder weggeschlagen werden. Die Linse *c* vor dem Objektiv *Ob* ist die bekannte Korrektionslinse, welche die aus der Halbkugel konvergent austretenden Strahlen parallel macht. Durch Einschalten der Lupe *L* wird das Fernrohr sofort in ein schwach vergrösserndes Mikroskop umgewandelt, mit dem man nicht nur das Präparat von oben her (durch die Luft), sondern auch von unten her (durch die Halbkugel) betrachten kann. Durch geeignete Wahl der Linsen ist dies ohne jegliche Korrektion oder Veränderung in der Einstellung des Mikroskopes möglich. Als Fernrohr, also bei weggeklappter Lupe *L*, erhält man mit demselben eine Vergrösserung von $+ 1^1/_4$. Als Mikroskop, also bei vorgeschlagener Lupe *L*, beträgt die Vergrösserung + 10. Der *Gebrauch des Mikroskopes bezw. des Fernrohres* ergiebt sich am Besten durch Erläuterung einer Messung an einem kleinen Krystall oder einem Plättchen im Dünnschliff.

Durch Einschalten der Lupe *L* wird das Beobachtungsrohr zunächst in ein schwach vergrösserndes Mikroskop umgewandelt und das mit einer starkbrechenden Flüssigkeit (Monobromnaphtalin, Methylenjodid oder dgl.) befeuchtete Präparat durch Verschieben zentrirt und unter gleichzeitiger Einschnürung der Irisblende *J* alles Uebrige vom Sehfeld abgeschlossen, sodass nur das zu messende Präparat im Mikroskop sichtbar ist. Hierbei kann man das Präparat durch die Halbkugel hindurch (Schrägstellung), wie bei der eigentlichen Messung, oder von oben her durch die Luft (Vertikalstellung) betrachten. In beiden Fällen wird man gut thun, das

[1]) Weinschenk, Anleitung zum Gebrauch des Polarisationsmikroskopes. *S. 30.*

Objekt von unten her durch den üblichen Spiegel *Sp* (Fig. 2) zu beleuchten. Durch Ausschalten der Lupe *L* wird das Mikroskop wieder in ein Fernrohr umgewandelt, mit dessen Hülfe der Grenzwinkel[1]) bestimmt wird.

Beschreibung des Instrumentes (Fig. 2). In die Tischplatte, die von einer auf hufeisenförmigem Fusse sitzenden Säule getragen wird, ist der in Grade getheilte Horizontalkreis *K* drehbar eingesetzt. Er trägt oben einen durchbohrten Fortsatz, auf dem die Halbkugel befestigt ist. Die an dem Fortsatz befindlichen Schrauben *z* dienen zur Zentrirung und die Schrauben *j* zur Justirung der Halbkugel *H*. *Sp* ist der Spiegel, der wie üblich zur Beleuchtung des Präparates von unten her für die

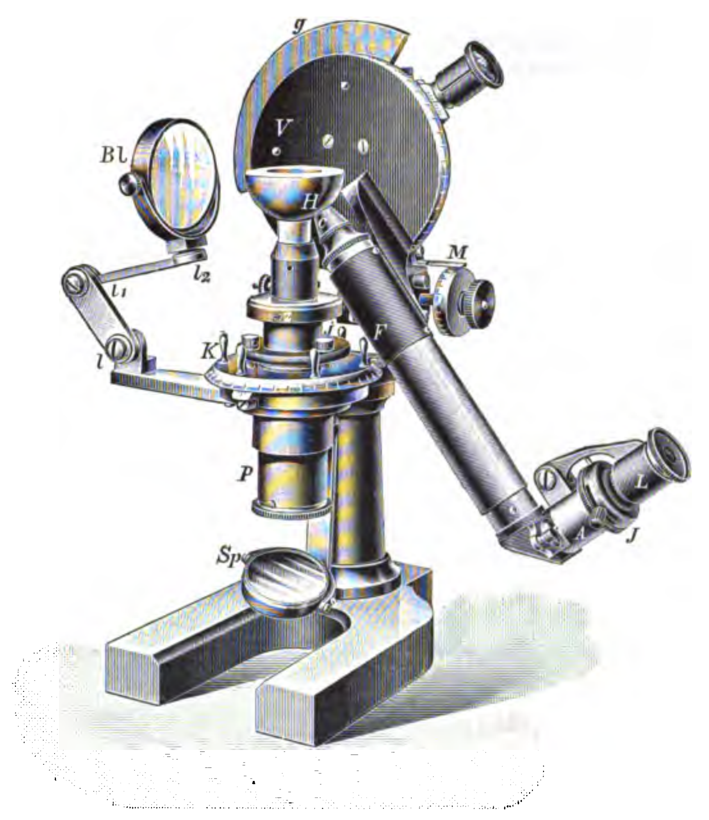


Fig. 2.

Beobachtung mit dem Mikroskop dient. In dem Rohr *P* befindet sich als Polarisator ein Nicol'sches Prisma, welches mittels seiner Hülse in die drei Stellungen 0°, 45° und 90° gebracht werden kann. Der Vertikalkreis *V*, an welchem das Fernrohr bezw. das Mikroskop angebracht ist, ist in halbe Grade getheilt; der mit Ableselupen versehene Nonius giebt Minuten an. Die Theilung des Kreises geht nur von 0 bis 100 Grad, es ist jedoch noch ein Strich auf dem Kreis angegeben, welcher mit dem Nullstrich des Nonius koinzidiren muss, wenn das Mikroskop vertikal stehen soll. Es wird indess eine Abweichung von einigen Graden bei der Beobachtung in Anbetracht der geringen Vergrösserung nie schädlich sein.

Die Mikrometerschraube *M* hat 0,5 *mm* Steigung; ihre Trommel ist für Disper-

[1]) Zur bequemen Ermittelung der Brechungsindizes aus dem Grenzwinkel *w* der totalen Reflexion sind für die bei den Refraktometern von Fuess benutzten Gläser (*N*) in der Schrift des Verfassers „Die optischen Instrumente u. s. w.“ *S. 363 bis 367* Tabellen gegeben.

sionsmessungen[1]) (unter Anwendung von Geissler'schen Röhren) in 150 Grad getheilt; 1 Intervall derselben giebt 12″· an.

Die Beleuchtung des Präparates bei den Messungen geschieht in der Regel mittels homogener Leuchtflammen. Die zweckmässigste Stellung der letzteren erläutern die Fig. 3 u. 4. Bei Fig. 3 steht die Lichtquelle hinter dem Instrument und das Licht wird durch einen mit den Gelenkarmen l, l_1, l_2 (Fig. 2) versehenen Spiegel Bl (Plan- und Hohlspiegel) auf das Präparat geworfen. In Fig. 4 ist behufs intensiverer

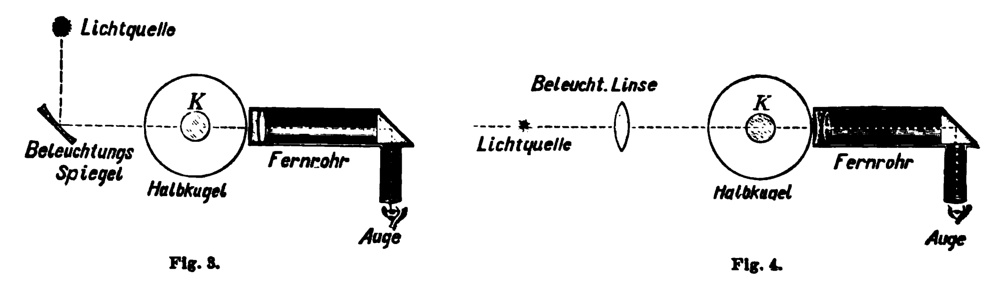


Fig. 3. Fig. 4.

Beleuchtung, wie dies besonders bei kleinen Präparaten nöthig ist, der Beleuchtungsspiegel durch eine Beleuchtungslinse ersetzt und die Lichtquelle deshalb links vom Beobachter aufgestellt.

Wo es die Präparate irgend ermöglichen, wird man bei der Beleuchtung die Methode des streifenden Lichteinfalles (Fig. 5) anwenden, weil hierbei die Grenze am markantesten auftritt. Das Sehfeld ist bei der Einstellung, wie Fig. 5 veranschaulicht, zur Hälfte hell erleuchtet und zur Hälfte vollständig schwarz.

Bei Benutzung der Methode des reflektirten Lichtes (Fig. 6) erscheint die eine Hälfte des Sehfeldes weniger hell als die andere, die Grenzlinie ist also weniger markant, wie im ersten Falle.

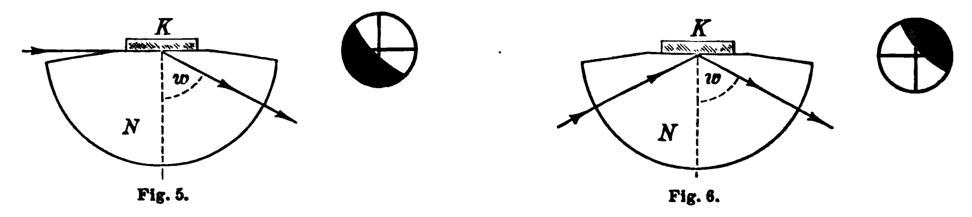


Fig. 5. Fig. 6.

Während man bei streifendem Einfall sich gleich bequem des Spiegels oder der Beleuchtungslinse (oder der direkten Lichtquelle allein) bedienen kann, ist die Anwendung der Beleuchtungslinse im reflektirten Licht etwas mit Umständen verknüpft. Man muss hierbei, da die Lichtquelle beträchtlich unter der Ebene der Refraktometer-Halbkugel stehen muss, entweder die Lichtquelle oder das Refraktometer auf ein in der Höhe verstellbares Stativ bringen, um den Lichteinfall innerhalb der erforderlichen Grenzen reguliren zu können.

Die Zentrirung und Justirung der Halbkugel geschieht in gleicher Weise wie bei allen derartigen Refraktometern mit halbkugelförmigem Glaskörper (vgl. hierüber z. B. Czapski, *diese Zeitschr. 9. S. 254. 1889* und die Schrift „Optische Instrumente u. s. w." *S. 41*). Bemerkt sei nur, dass bei der Justirung der Halbkugel, wobei ein Fensterkreuz oder die Kante eines entfernten Daches oder dgl. anvisirt wird, die vor dem Fernrohrobjektiv befindliche Korrektionslinse c abgeschraubt werden muss.

[1]) Vgl. hierüber z. B. C. Leiss, Optische Instrumente u. s. w. *S. 368 bis 370.*

Referate.

Reflektor der Yerkes-Sternwarte.

Von G. W. Ritchey. *Astrophys. Journ.* **14.** *S. 217. 1901.*

Verf. hat mit einem von ihm gefertigten Reflektor von 60 *cm* (2 Fuss) Oeffnung und 236 *cm* Brennweite photographische Aufnahmen von einigen Nebelflecken gemacht, welche alle seitherigen Aufnahmen solcher Objekte weit hinter sich lassen, sodass man auf Grund dieser Erfolge in Zukunft gewiss wieder häufiger an die Herstellung grosser Spiegelteleskope gehen wird.

Den Spiegel selbst, zu dem das Glas von den Glaswerken zu St. Gobain bei Paris geliefert worden war, schliff Verf. im Jahre 1896 in seinem eigenen Laboratorium zu Chicago, wobei er trotz der Schwierigkeiten, welche der Schliff eines parabolischen Spiegels von dem Oeffnungsverhältniss 1 : 4 bedingt, einen, wie er sagt und wie die Resultate hinlänglich bestätigen, hohen Grad von Genauigkeit erreichte. Nähere, zahlenmässige Angaben macht Verf. leider nicht.

Die bei sphärischen Flächen in der Regel angewandte Methode der Prüfung der einzelnen Zonen im Krümmungsmittelpunkt, wobei man die Vereinigung der von einer in unmittelbarer Nähe des Krümmungsmittelpunktes aufgestellten Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit der Lupe untersucht, zeigte sich bei der parabolischen Fläche von so grosser Oeffnung nicht brauchbar, wenigstens nicht für die äusseren Zonen. Verf. schlug daher

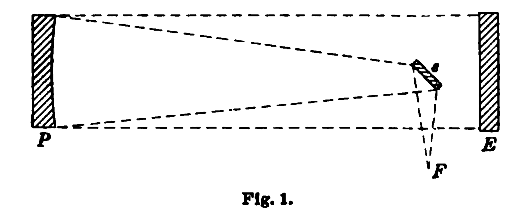


Fig. 1.

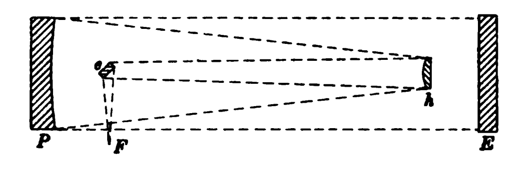


Fig. 2.

folgenden Weg ein. Es wurden, wie Fig. 1 zeigt, vor dem parabolischen Spiegel P ein gleich grosser ebener Spiegel E und noch ein kleinerer ebener Spiegel e aufgestellt, sodass Lichtstrahlen, die von einer nahe dem Fokus F befindlichen Lichtquelle ausgehen, wieder nahe dem Fokus sich vereinigen. Indem Verf. die Lage dieses Vereinigungspunktes mittels der Messerschneidenmethode bestimmte, fand er, wie er sagt, ohne Schwierigkeit die Brennweite der einzelnen Zonen, denen er eine Breite von 26 *mm* gab, sowie des Spiegels im Ganzen auf 0,04 *mm* genau. Um den Spiegel auch für ein Cassegrain'sches Fernrohr benutzen zu können, fertigte Verf. noch einen konvexen, hyperbolischen Spiegel von etwa 13 *cm* Oeffnung an, den er, nachdem der parabolische Spiegel fertiggestellt war, in der aus Fig. 2 ersichtlichen Anordnung prüfte. Die Aequivalentbrennweite des Spiegels betrug bei dieser Anordnung 11,6 *m*.

Die Montirung des zweifüssigen Spiegels ist noch zum grossen Theil das Werk von Prof. Wadsworth, des jetzigen Direktors des Allegheny-Observatoriums, welcher der Vorgänger des Verf. in der Leitung der mechanischen Werkstätte der Yerkes-Sternwarte war. Die Aufstellung ist die sogenannte deutsche äquatoreale. Damit jedoch ein Umlegen nicht nöthig ist, wenn das Fernrohr bei einer mehrstündigen photographischen Aufnahme von negativen zu positiven Stundenwinkeln übergeht, sitzt der Uhrkreis, welcher durch das innerhalb der Säule befindliche Uhrwerk gedreht wird, nicht wie gewöhnlich auf dem oberen, sondern auf dem unteren Ende der Polarachse. Zur Entlastung des Lagers der Polarachse dient eine vertikal stehende, durch einen Hebel nach oben gedrückte Rolle, auf welcher die Polarachse mit einem abgeschrägten Halsring aufliegt. Trotzdem von vornherein dem Rand der Rolle eine konvexe Wölbung gegeben wurde, fand doch keine glatte Abwickelung des Halsringes auf der Rolle statt. Die vielmehr dabei auftretenden Stösse wurden erst wesentlich dadurch vermindert, dass der Rand der Rolle noch stärker konvex gemacht

wurde; am besten würde man, wie Verf. jedenfalls sehr richtig urtheilt, statt der Rolle ein konisches Rad von gleichem Winkel wie der Halsring genommen und auch die Achse noch an ihrem unteren Ende unterstützt haben, was aber im vorliegenden Fall nicht mehr möglich war.

Die Deklinationsachse trägt an dem einen, kurzen Ende den Spiegel mit dem 2 *m* langen, das Rohr ersetzenden Gestänge, an welchem vorn der kleine ebene Spiegel befestigt ist, der die vom grossen Spiegel kommenden Strahlen seitlich reflektirt. Soll das Fernrohr als Cassegrain'sches gebraucht werden, so wird der kleine ebene Spiegel durch den hyperbolischen ersetzt. Die Kassette ist im ersteren Falle vorn an dem Gestänge angebracht, wo sie mit Hülfe einer $3\frac{1}{2}$ *m* hohen Beobachtungstreppe zugänglich ist, im letzteren Falle in der Nähe des grossen Spiegels. Das Gestänge besteht aus sechs Stahlröhren, die durch mehrere starke, gegossene Aluminiumringe zusammengehalten werden. Je nachdem man den kleinen ebenen oder den hyperbolischen Spiegel benutzen oder im direkten Fokus des grossen Spiegels photographiren will, wird von drei Ringen der passende als oberster Ring auf das Gestänge aufgesetzt. Für den letzteren Zweck, wo im direkten, dem Beobachter nicht zugänglichen Fokus photographirt wird, ist mit dem Hauptrohr noch ein Cassegrain'sches Fernrohr von 23 *cm* Oeffnung und einer Aequivalentbrennweite von 4,6 *m* verbunden, welches als Einstellungsfernrohr dient. In den beiden anderen Fällen, wo der Fokus dem Beobachter zugänglich ist, geschieht die Pointirung durch ein am Rande der Kassette angebrachtes, zur Aufsuchung eines passenden Leitsternes nach zwei zu einander senkrechten Richtungen verschiebbares Okular, dessen Fadenkreuz der Beobachter auf den Leitstern eingestellt hält, indem er nunmehr die ganze Kassette in zwei zu einander senkrechten Führungen bewegt. Es wird also die Pointirung nicht wie sonst üblich durch Einstellung des ganzen Fernrohres, sondern nur der Platte bewirkt und die ganze optische Kraft des Spiegels für die Pointirung ausgenutzt. Die Grösse der Photogramme ist etwa 7,5 *cm* im Quadrat, die Grösse der abgebildeten Himmelsfläche zwei Grad im Quadrat. An dem Lager des Spiegels und dem Gestänge ist endlich noch ein etwa 45 *kg* wiegender spektroskopischer Apparat befestigt und zwar in einer von Prof. Wadsworth angegebenen Weise, sodass er bei Verwendung des Fernrohres zu anderen Arbeiten nicht im Wege ist und daher nie abgenommen zu werden braucht.

Verf. hat früher einen Vorschlag für die Lagerung grosser Spiegel gemacht, worüber in *dieser Zeitschr.* ***17.*** *S. 220. 1897* berichtet worden ist. Diese Idee konnte er im vorliegenden Fall nicht zur Ausführung bringen, weil bei der Montirung des Instrumentes nicht von vornherein darauf Rücksicht genommen war. Der Spiegel ruht auf drei glatt geschliffenen, gusseisernen Platten von 25,5 *cm* Durchmesser; zwischen Glas und Platte befindet sich ein Blatt Papier. Auf der Rückseite jeder Platte sitzt ein Kugelgelenk, dessen Zapfen durch die darunter befindliche starke Grundplatte geht und zur Justirung des Spiegels durch eine unter der Grundplatte angebrachte Schraube mehr oder weniger angezogen werden kann. Gegen seitliche Verschiebung ist der Spiegel durch vier Stahlbänder geschützt, von denen ihn zwei oben und zwei unten am Rande nahezu halb umfassen. Je zwei stehen einander gegenüber, die beiden Paare stehen rechtwinklig zu einander. Die Stahlbänder werden durch Schrauben festgezogen.

Das Gegengewicht für das Gestänge ist unter dem Spiegellager angebracht, während die Deklinationsachse an ihrem längeren Arm das Gegengewicht für das ganze Fernrohr trägt. Die beweglichen Theile des Instrumentes wiegen zusammen etwa 1100 *kg*, wovon etwa die Hälfte auf die Gegengewichte entfällt.

Das Uhrwerk nebst den zur Uebertragung der Bewegung dienenden Theilen ist von starkem Bau, der Regulator macht in der Sekunde zwei Umdrehungen, statt wie beim Uhrwerk des vierzigzölligen Refraktors nur eine, jede der Kugeln wiegt ungefähr 3 *kg*. Damit das Fernrohr dem Uhrwerk leicht folgt, wird auf der Seite, nach welcher die Bewegung hin stattfindet, also auf der Westseite desselben ein Uebergewicht angebracht. Die Bewegung des Instrumentes ist dadurch sehr zufriedenstellend geworden, wie man besonders dann

erkennt, wenn das Fernrohr in der Cassegrain'schen Form benutzt wird und daher eine Aequivalentbrennweite von 11,6 *m* hat.

Verf. beabsichtigt auch ein Spiegelteleskop von 1,5 *m* Oeffnung (5 Fuss) herzustellen. Zur Vermeidung der gewaltigen Gegengewichte soll das Fernrohr in einer das obere Ende der Polarachse bildenden Gabel sich bewegen, die freilich von ausserordentlicher Stärke sein muss. Interessant ist ferner, dass das Fernrohr als gebrochenes Aequatoreal montirt werden soll, wie beistehende Fig. 3 zeigt. Auch will Verf. hierbei die von ihm erdachte Spiegelunterstützung in Anwendung bringen. Es sei bei dieser Gelegenheit an die von Wadsworth gemachten Vorschläge für die Aufstellung von Spiegelteleskopen erinnert, über welche in *dieser Zeitschr.* ***17.*** *S. 280. 1897* berichtet worden ist.

Der 60 *cm*-Reflektor hat, wie erwähnt, in den Händen seines Verfertigers bereits ausgezeichnete Proben seiner Leistungsfähigkeit geliefert. Man darf von einem Reflektor natürlich nicht ein gleichmässig gutes Bild von vielen Quadratgraden verlangen, wie die

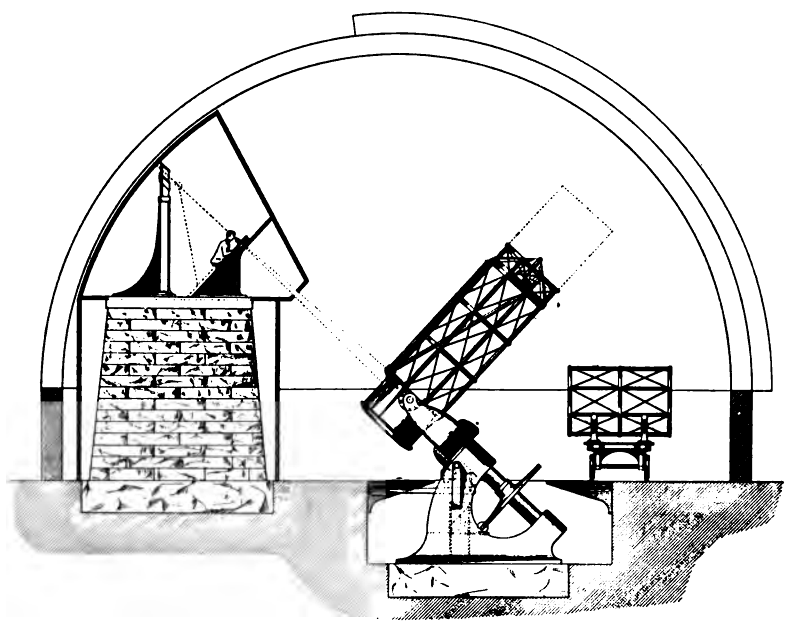


Fig. 3.

Refraktoren es geben. Dafür liefert er aber, wenn auf seine Herstellung und Montirung die höchste Sorgfalt verwandt worden ist, von einer kleinen Fläche ein so scharfes feines Bild, wie es heutzutage wenigstens mit Refraktoren zu bekommen nicht möglich ist. Von besonderem Werth ist dies bei Aufnahmen einzelner Objekte, wie Nebelflecken, und namentlich auch bei spektroskopischen Arbeiten. Auf den besten Negativen von vierstündiger Expositionszeit haben die Bilder der schwächeren Sterne nahe der Achse einen Durchmesser von etwa 2 Bogensekunden. Doppelsterne von 2,5″ Abstand erscheinen getrennt und solche von weniger als 2″ Distanz sind messbar, obgleich diese Distanz auf der Platte nur 0,02 *mm* beträgt. Die photographirten Nebelflecke zeigen eine Menge Detail, welches bisher noch nie von den Astronomen wahrgenommen worden ist, sodass man über ihre Struktur ganz neue Aufschlüsse gewinnt. Dass bei grossen Reflektoren die Montirung unüberwindliche Schwierigkeiten mache, nennt Verf. ein Vorurtheil. Gegen Verbiegung könne der Spiegel durch die Dicke des Glases geschützt werden, und auch gegen irgend welche Verschiebung lasse er sich sichern. Eine ab und zu nöthig werdende Neuversilberung könne heutzutage selbst bei einem Spiegel von 1,5 *m* innerhalb einiger Stunden ausgeführt werden und es brauchten sich durch die Herausnahme und Wiedereinsetzung des Spiegels nicht einmal die Instrumentalkonstanten zu ändern. So sei, als der 60 *cm*-Spiegel behufs einer Neuversilberung

einmal herausgenommen wurde, weder die Kollimation noch die Fokallänge merkbar geändert worden. Die Bestimmung der letzteren konnte, wenn die Luft gut war, bis auf 0,05 *mm* genau gemacht werden. Innerhalb eines Temperaturbereiches von 28° C. blieb die Fokallänge die gleiche, nur musste man berücksichtigen, dass das Gestänge bei einem solchen Temperaturunterschied seine Länge um 0,75 *mm* änderte. Während Keeler an dem Crossley-Reflektor der Lickstemwarte Fokusänderungen bei mehrstündigen Expositionen gefunden hatte, konnten vom Verf. solche bei seinem 60 *cm*-Spiegel, obwohl er seine Aufmerksamkeit darauf richtete, nicht bemerkt werden. Bei dem Vierzigzöller der Yerkes-Sternwarte beträgt, wie Verf. erwähnt, die Aenderung der Brennweite des Objektivs in Folge einer Temperaturänderung doppelt so viel als die Aenderung der Rohrlänge; so wird bei einer Temperaturerniedrigung um 28° C. das Rohr um 6,25 *mm* und die Brennweite des Objektivs um 12 *mm* verkürzt.

Das grosse Oeffnungsverhältniss von 1:4, welches Verf. dem 60 *cm*-Spiegel gegeben hat, macht ihn in erster Linie zur Aufnahme schwacher Objekte von geringer Ausdehnung geeignet, denn die Schärfe des Bildes nimmt nach dem Rande zu rasch ab. Bei der Aufnahme eines hellen Nebels, wie z. B. des Andromedanebels, blendet man den Spiegel am besten auf 45 bis 50 *cm* ab, wodurch zwar eine längere Expositionszeit benöthigt wird, dafür aber die Bilder auf der Platte in weiterem Umfang scharf sind. Für den Spiegel von 1,5 *m* hat Verf. das Oeffnungsverhältniss 1:5 gewählt. *Kn.*

Das Stangenplanimeter (Beilschneidenplanimeter) von H. Prytz.

Von G. B. Maffiotti. *Rivista di Topogr. e Catasto* **13.** *S. 49. 1900/01.*

Die Abhandlung bildet den Abschluss der Untersuchungen des Verf. über das merkwürdige Instrument, indem sie noch die Ergebnisse von Versuchsmessungen liefert und sodann die praktischen Regeln für den Gebrauch des Prytz-Maffiotti'schen Instruments zusammenfasst. Die vom Verf. wie schon von Andern angebrachte Abänderung besteht in der Ersetzung der Beilschneide bei Prytz durch den scharfen Rand einer Rolle und durch Anbringung einer kleinen Stütze (Feder, *molla*). Die Versuchsmessungen an einem Rechteck von 20 *mm* Breite und 200 *mm* Länge (s. u.) gaben bei 8 Messungen (für die alle Zahlen angeführt sind) den m. F. einer Messung zu nur

$$\pm 8{,}5 \; qmm.$$

An weitern Figuren, Kreisen, Dreiecken, Quadraten, Rechtecken, im Ganzen 15 an der Zahl, von 1200 bis 10 000 *qmm* Fläche wurden aus der innern Uebereinstimmung von 5 bis 10 Messungen m. F. einer Messung zwischen

$$\pm 0{,}08 \quad \text{und} \quad \pm 0{,}52\,\%$$

der Fläche abgeleitet, wobei ein Theil der kleinern Zahlen auch bei den *kleinern* Flächen vorkommt (0,52 % allerdings bei der kleinsten Fläche, 0,10 % bei der grössten, aber 0,08 % bei einer mittelgrossen Fläche von 4700 *qmm*, der einzigen geradlinig begrenzten Fläche von mehr als 4 Seiten). Dabei sind die Abmessungen des Maffiotti'schen Versuchsinstruments: 250 *mm* vom Fahrstift bis zum Punkt des scharfen Rollenrandes, 312,5 *mm* vom Fahrstift bis zur Kante der Stütze (Feder).

Die genaue Anleitung zur Benutzung des Instruments und zur einfachen Rechnung des bekannten Korrektionsgliedes sind willkommen. Der Verf. macht stets 4 Umfahrungen, wie bekannt ausgehend vom geschätzten Schwerpunkt der Figur, 2 links herum, 2 rechts herum, wobei zwischen je zweien die Anfangslage um einen kleinen Winkel verdreht ist. Sind a_1 und a_1' die Mittel der Abstände der je zwei Paare von Schlusseindrücken auf dem Papier, so ist die genäherte Fläche bei der angegebenen Länge von 250 *mm* zwischen Schneide und Fahrstift, genähert

$$F = 100\,(a_1 + a_1')\; qmm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Dieser Werth ist etwas zu gross, nämlich mit der negativen Korrektion

$$\Delta = k\left(\frac{F}{1000}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

zu versehen, wobei k für alle Figuren, deren Abmessungen in den verschiedenen Richtungen nicht sehr verschieden sind, gleich 1,3 zu setzen ist; für solche Figuren dagegen, die im Wesentlichen einem langgestreckten Rechteck mit den Abmessungen u und v entsprechen, ist zu setzen

$$k = 0{,}65 \left(\frac{u}{v} + \frac{v}{u}\right) \qquad \ldots \ldots \ldots \ldots 3)$$

wobei k und Δ selbstverständlich mit dem Rechenschieber gerechnet werden können. Es ergebe sich z. B.

in der *ersten* Lage des Instruments	bei rechtsläufigem	Fahren der Abstand	46,7 *mm*
	„ linksläufigem	„ „ „	47,1 „
in der *zweiten* Lage des Instruments	bei rechtsläufigem	„ „ „	48,3 „
	„ linksläufigem	„ „ „	48,8 „

so ist $a_1 = 46{,}9$ und $a_1' = 48{,}5_5$

und also in erster Näherung

$$F = 100\ (95{,}4_5) = \text{abger. } 9540\ qmm.$$

Die umfahrene Figur entspricht ungefähr einem Rechteck von 13 *cm* Länge und 6 *cm* Breite, so ist $u/v = 2{,}2$, also $k = 0{,}65\ (2{,}2 + 0{,}45) = 1{,}7$ (Rechenschieber) und folglich die Korrektion an der angegebenen Fläche

$$\Delta = 1{,}7 \cdot 9{,}5^2 = \text{rund } 150\ qmm,$$

also $$F = 9540 - 150 = 9390\ qmm.$$

Man muss freilich sagen, dass der *Hauptwerth* des Prytz'schen Instruments in seiner Verwendung zur möglichst raschen *ungefähren* Bestimmung von Flächen, bei Vernachlässigung von Δ, liegt; man will weder stets 4 Umfahrungen machen, noch die Korrektion Δ rechnen, sondern mit dem Instrument rasch messen können, ob die vorgelegte Fläche 93, 94, 95 *qcm* gross ist (wobei es also auf 1 % nicht ankommt), vielleicht auch bloss, ob sie 90 oder 100 *qcm* gross ist, wobei also Δ ganz ausser Acht bleiben kann. *Hammer.*

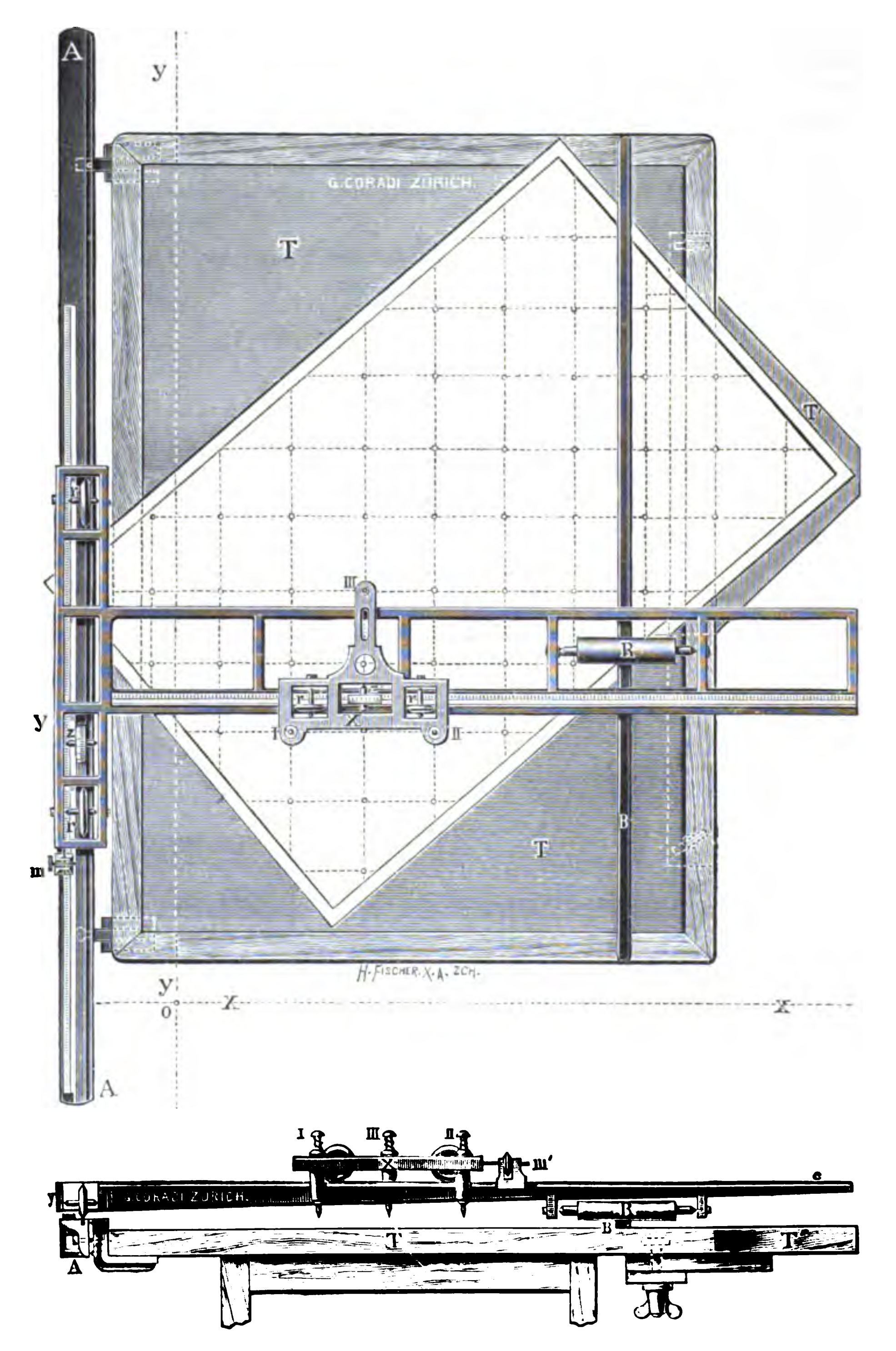
Koordinatograph.

Von G. Coradi in Zürich. *Nach Prospekten, Werkzeichnungen und sonstigen Mittheilungen.*

Koordinatographen für rechtwinklige Koordinaten und „Quadratnetzstecher" zur Herstellung der Eckpunkte eines Netzes sind mehrfach konstruirt worden; ein Instrument der zweiten Art, von Rödder, wurde auch hier kurz besprochen (*diese Zeitschr.* ***18.*** *S. 387. 1898;* ***20.*** *S. 122. 1900*; vgl. darüber ferner *Zeitschr. f. Vermess.* ***27.*** *S. 526. 1898;* ***28.*** *S. 559. 1899;* ***31.*** *S. 186. 1902*). Von den Instrumenten der ersten Art, die nicht nur zum Auftragen rechtwinkliger Klein-Koordinaten bestimmt sind, wie die meisten der zahlreichen „Kartirungsinstrumente, Auftrageapparate u. s. w." (von mehreren deutschen Firmen in Form eines Abszissenlineals mit Anschlagwinkel oder Anschlagstück für die Ordinaten ausgeführt), die vielmehr zum genauen Auftragen umfassenderer Koordinatennetze dienen, darf als das *wichtigste* der Koordinatograph von Mechaniker G. Coradi in Zürich bezeichnet werden.

Ein erstes Instrument hat Coradi auf Anregung des niederländischen Landmessers Boer 1885 hergestellt (vgl. Stucki, *Zeitschr. f. Vermess.* ***16.*** *S. 538. 1887*); es entsprach den gestellten Anforderungen, befriedigte aber den Konstrukteur selbst nicht, ebenso war dies bei einem zweiten Instrument der Fall, das für das Katasteramt Breslau angefertigt wurde (vgl. Stucki, *Zeitschr. f. Vermess.* ***22.*** *S. 369. 1893*) und mit dem auf Blättern von $1{,}0 \times 0{,}7$ *m* das Koordinatennetz (Eckpunkte der Maschen rechtwinkliger Koordinaten mit runden Abszissen- und Ordinatenabständen), ebenso sämmtliche durch Koordinaten gegebene Einzelpunkte bei ganz beliebiger Lage der Abszissenachse mit grosser Genauigkeit sollte aufgetragen werden können. Bei diesem zweiten Instrument war die Geradführung mittels Laufwalze angewandt (ähnlich wie beim Rollplanimeter).

Die Einrichtung der dritten Konstruktion, die hier abgebildet wird, ist im Prinzip ebenso einfach. Das Instrument hat in dieser Ausführung bereits ziemlich grosse Verbreitung



gefunden, wenn es auch wegen des Preises (mit Tischblatt zusammen 1000 M.) auf grössere Bureaux beschränkt bleiben wird.

An der Tischplatte *T* (vgl. die beistehende Figur) ist das Abszissenlineal von $1\frac{1}{2}$ *m* Länge mit Hülfe von zwei starken gusseisernen Winkeln befestigt; an diesem Lineal kann auf zwei in einer Rinne laufenden Rollen *r* von 7 *cm* Durchmesser und 45 *cm* Abstand der Wagen *Y* 1 *m* weit verschoben werden. Als dritte Führung bei dieser Verschiebung dient

ein Punkt der Walze *R*, die am rechtwinklig zur Abszissenlinealnuth angeschlagenen Ausleger sich befindet und die auf der Tischschiene *B* (in 80 *cm* Abstand von der Rinne in *A*) sich abwälzt. Am Ausleger ist ebenfalls eine Rinne angebracht, in der die zwei Rollen *r* (5 *cm* Durchmesser und 16 *cm* Abstand) des Wagens *X* laufen. Dieser zweite Wagen kann etwa 90 *cm* weit verschoben werden, sodass man also mit dem Apparat eine Papierfläche von etwa 90 × 70 *cm* beherrscht. Der Wagen *X* trägt die Hülsen der 3 Punktirstifte *I*, *II*, *III*, wobei *I* und *II* dieselbe Ordinate und um genau 200,0 *mm* verschiedene Abszissen haben, während die Abszisse von *III* sich von denen von *I* und *II* um je 100,0 *mm* unterscheidet und der Ordinatenabstand der Stifte *III* von *I*, *II* ebenfalls genau 100,0 *mm* beträgt. In die Hülsen der Stifte *I*, *II*, *III* kann statt der Stifte auch eine freifallende Reissfeder derart eingesetzt werden, dass ihre Schreibebene in die Abszissen- und in die Ordinatenrichtung fällt, sodass auch die Koordinatennetzlinien gleich gezogen werden können, statt dass man nur die Netzpunkte einsticht. In dieser Beziehung sind die Anforderungen da und dort etwas verschieden: der Eine will mit dem Apparat nur die Netzpunkte einstechen, allenfalls mit Bezeichnung durch kleine Ringe um diese Punkte, sodass der Verfertiger für manche Apparate, z. B. für die nach Paris bestimmten, den Stiften Kreisstempel von 1 und $1^1/_2$ *mm* Halbmesser mitgiebt; der Zweite will gleich durch den Apparat selbst die Netzlinien gezogen haben; der Dritte will mit dem Instrument nicht nur das Koordinatennetz auftragen, um dann mit Hülfe von Zirkel und gewöhnlichen Maassstäben oder mittels kleinerer Auftrageapparate das Detail der Aufnahmen einzutragen, sondern will auch soweit als möglich alle Einzelheiten der ganzen Aufnahme mit dem grossen Instrument zu Papier bringen u. s. f.

Auf *A* und dem *X*-Ausleger des *Y*-Wagens sind je zwei Theilungen angebracht (auch wohl zwei verwandte Maassstäbe, z. B. 1:1000 und 1:500, oder 1:1000 und 1:2000); die feine Einstellung einer bestimmten Abszisse oder Ordinate geschieht mit Hülfe je eines Messrädchens *z* bezw. *z'*, das in eine genaue Verzahnung ($^1/_4$ *mm*) der Schiene eingreift. Die Rädchen haben genau 20, die getheilten und bezifferten Scheiben zu ihrer Ablesung aber 150 *mm* Umfang, sodass die Theile der Millimeter der Haupttheilung (Metertheile des Meter bei 1:1000 z. B.) in $7^1/_2$-facher Vergrösserung erscheinen und z. B. $^1/_{10}$ *mm* wirklicher Verschiebung der Wagen *Y* oder *X* auf der Scheibe des Messrädchens ein Theil von $^3/_4$ *mm* Länge entspricht. Man kann damit auch in der Mitte des Tischblatts ohne Lupe die Maasse sehr scharf einstellen, bis auf ganz wenige hundertstel Millimeter (z. B. in 1:1000 also bis auf 2 oder 3 *cm* in den Koordinaten scharf).

Die Bezifferung der Skalen auf *A* und dem *X*-Ausleger ist nicht auf den Maassstäben selbst, sondern je auf einem besondern Band angebracht, das an den Enden über Rollen geht; es ist durch diese mit Theilstrichen von 10 zu 10 Meter (1:1000; *cm* zu *cm* natürliches Maass) und mit Bezifferung von 50 zu 50 Meter (0 bis 950 Meter) versehenen Ziffernbänder erreicht, dass die Koordinatenzahlen gleichsam auf die Theilungen übertragen werden.

Die richtige Länge der Theilungen ist bei einer bestimmten Temperatur, z. B. 18° C., vorhanden und man wird bei der Verwendung des Instruments nur zu beachten haben, dass die Zimmertemperatur sich nicht weit von jener Normaltemperatur entfernt. Grössere Abweichungen können durch den verschiedenen hygroskopischen Zustand des Papiers entstehen, auf das aufgetragen wird, falls das Auftragen längere Zeit dauert; man muss dann eben allemal wieder empirisch die Länge von 100 *m*, wie sie bei Beginn des Auftragens vorhanden war, herstellen.

Dass Coradi mit diesem in allen Theilen gut durchdachten Apparat die Aufgabe, ein feines Auftrageinstrument für rechtwinklige Koordinaten auf grossen Flächen herzustellen, aufs Vollkommenste gelöst hat, ist wohl von allen Seiten anerkannt. *Hammer.*

Registrir-Manometer für Hochdruck-Explosionen.

Von J. E. Petavel. *Phil. Mag.* **3.** *S. 461. 1902.*

Die Grundzüge der Konstruktion des Manometers sind aus der umstehenden Skizze (Fig. 1) ersichtlich. Der Apparat wird mittels des Gewindes *U* in eine entsprechende Bohrung des Gefässes eingeschraubt, in welchem die Explosion stattfinden soll. Der Druck wirkt bei

C auf den Stempel *P* und veranlasst eine elastische Deformation der mittels der Mutter *K* am anderen Ende festgehaltenen und bei *e* mit Führungsflanschen versehenen, röhrenförmigen Dose *S*. Diese Deformation wird durch die Stange *R* auf ein Hebelwerk übertragen, welches,

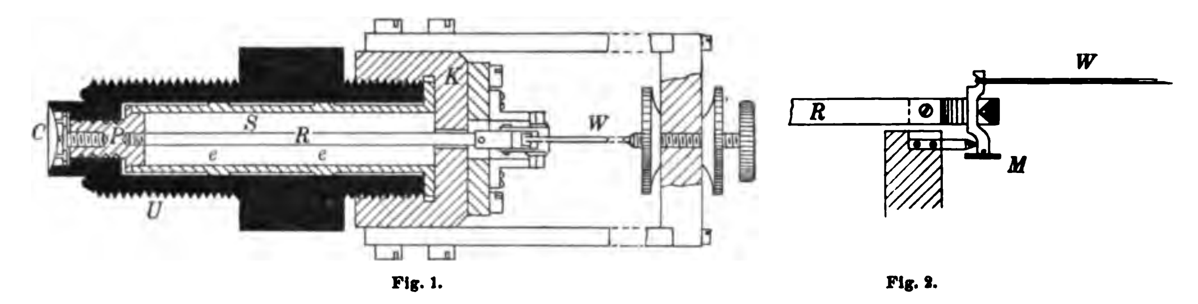


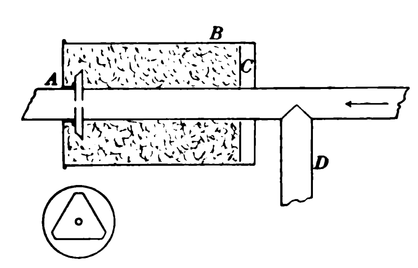
Fig. 1. Fig. 2.

wie in Fig. 2 schematisch angedeutet ist, einen kleinen Spiegel *M* trägt; ein bis hart an die Grenze der Elastizität gespannter Draht *W* wirkt am andern Hebelarme. Die Bewegung des Spiegels wird photographisch in bekannter Weise auf einem schnell rotirenden Film registrirt. Zwei Diagramme sind der Arbeit beigefügt. *Rt.*

Interferenz von Tönen.

Von Lord Rayleigh. *Nature* ***66.*** *S. 42. 1902.*

Mit sehr hohen Tönen lassen sich, wie Verf. zeigt, einige optische Phänomene, wie stehende Wellen, Interferenz u. s. w. nachahmen; diese Versuche sind auch zur Vorführung in Vorlesungen gut geeignet. An Stelle des Ohres tritt dann als Empfänger die sensitive, unter hohem Druck stehende Flamme, welche die Tonschwingungen durch Veränderung der Flammenhöhe anzeigt (vgl. Tyndall, *Theory of sound*). Die hohen Töne werden am besten durch kleine Pfeifen (Lockpfeifen) erzeugt, die man sich leicht selbst herstellen kann. Sie bestehen aus zwei durchbohrten, in geringem Abstand von einander befestigten (Zinn-) Platten; die eine derselben besitzt einen Durchmesser von 1 bis 2 *cm* und ist an eine Röhre angelöthet oder angekittet, durch welche die Luft eingeblasen wird; die andere ist zweckmässig dreieckig gestaltet (in der Figur links unten) und die abwärts gebogenen Ecken derselben sind mit der ersten Platte so verbunden, dass der Abstand etwa 1 *mm* beträgt. Die Bohrungen, welche glatt und scharf sein müssen, haben einen Durchmesser von etwa $^1/_2$ *mm*, die Plattenstärke beträgt ebenfalls $^1/_2$ *mm*. Man kann mit solchen Pfeifen Wellenlängen unter 1 *cm* erzeugen, also entsprechend einer Schwingungszahl von etwa 50 000 pro Sek. Bei den kleinsten Wellen soll der Abstand der Flamme von der Pfeife 50 *cm* nicht übersteigen. Da es sehr auf konstanten Winddruck ankommt, empfiehlt sich die Verwendung eines Manometers. Damit seitlich aus den Pfeifen kein Ton austreten kann, was für manche Versuche nothwendig ist, wird dieselbe auf die in der Figur angegebenen Weise montirt.



Bei *A* ist ein Zinnzylinder *AB* luftdicht aufgelöthet, der mit Watte gefüllt und bei *C* mit einem lose passenden Deckel verschlossen ist. Bei *A* können für manche Versuche verschiedene horn- oder trompetenförmige Ansätze luftdicht aufgesteckt werden, aus denen dann der Ton austritt; die seitliche Röhre *D* führt zu dem Manometer.

Mit dieser Vorrichtung ist es nun leicht, stehende Tonschwingungen zu erzeugen, indem man den Ton durch eine hinter der Flamme aufgestellte Glasplatte reflektiren lässt. Man kann dann die Wellenlänge aus dem Abstand der Knoten und Bäuche in bekannter Weise messen. An der Platte selbst und im Abstand von geraden Vielfachen der $^1/_4$-Wellenlänge befinden sich die Knoten, dazwischen die Bäuche. Auch mit nicht stationären Tönen,

z. B. einem durch einen Hammer angeschlagenen Stahlstab von etwa 20 *cm* Länge ist es Verf. gelungen, stehende Wellen zu demonstriren.

Um das Huyghens'sche Phänomen zu zeigen, bringt Verf. zwischen Pfeife und Flamme eine mit rundem Loch versehene Glasplatte. Ist die Anordnung so getroffen, dass die Oeffnung gerade die erste und zweite Zone einschliesst, so reagirt die Flamme nur dann auf den Ton, wenn ein Theil der Oeffnung (Zentrum oder Rand) verdeckt wird. Aehnliche Erscheinungen treten auch auf, wenn der Ton durch die Oeffnung eines Hornes austritt, zumal wenn der Durchmesser der Oeffnung die halbe Wellenlänge übersteigt. Verf. macht aus dieser Erscheinung eine Nutzanwendung auf die Nebel-Sirenen, welche an der Meeresküste zur Warnung von Schiffen aufgestellt sind und deren Ton auch in Folge der Interferenz in manchen Richtungen schwächer gehört wird als in anderen. Durch Aufstellung zweier Sirenen, deren Achsen eine Neigung von 120° haben, sucht man diesem Uebelstand abzuhelfen; man kann denselben aber auch dadurch vermeiden, dass man nicht kreisrunde, sondern elliptische Oeffnungen anwendet, deren horizontale Achse dann die halbe Wellenlänge nicht übersteigen darf, während die vertikale zwei Wellenlängen und mehr betragen kann.

Ein weiterer ebenfalls vom praktischen Standpunkt interessanter Versuch ist die Interferenz der direkten Schallwellen mit solchen, die in stark schräger Richtung reflektirt worden sind (Lloyd'sche Banden). Die Reflexion kann durch ein langes Brett bewirkt werden, welches horizontal unter die direkte Verbindungslinie zwischen Flamme und Pfeife gehalten wird. Je nach dem Abstand des Bretts wird der Ton verstärkt oder geschwächt. In ähnlicher Weise wirkt die Reflexion an der Meeresoberfläche bei Nebel-Sirenen mitunter so, dass der Ton in weiterer Entfernung besser zu hören ist, als in gewissen näher liegenden Zonen.

Um auch die Fresnel'schen Interferenzerscheinungen zu zeigen, wird eine Theilung des von A ausgehenden Tones mittels eines angesetzten T-Rohres vorgenommen, an dessen Enden elliptische Mundstücke angesetzt werden, deren Achsen um etwa 40 *cm* von einander abstehen. Man kann auf diese Weise den Zusammenhang zwischen dem Abstand der Banden mit der Wellenlänge u. s. w. nachweisen. Auch durch Einschaltung eines anderen Gases in den Weg des einen Tones kann man Interferenz erzeugen; z. B. durch Anwendung von Kohlensäure. Verf. bespricht dann noch die Interferenzerscheinungen, die beim Tönen mancher Körper entstehen, z. B. einer Stimmgabel oder einer offenen Orgelpfeife, sowie bei einem Weinglas, das mit einem Violinbogen angestrichen wird und dessen Oeffnung der Flamme zugekehrt ist. *W. J.*

Das ultrarothe Sonnenspektrum.

Von S. P. Langley. *Ann. of the Astrophys. Observatory of the Smithsonian Institution. Bd. 1. 266 S. Washington 1900.*

Nachdem Langley im Jahre 1881 bei seiner Expedition auf den Mount Whitney die grundlegende Entdeckung gemacht hatte, dass im Sonnenspektrum Strahlen von bis dahin ungeahnt grosser Wellenlänge enthalten sind, stellte er sich die Aufgabe, dieses „neue Spektrum" mit der gleichen Genauigkeit zu erforschen, mit welcher der sichtbare und der photographirbare Theil des Sonnenspektrums bekannt waren. Der vorliegende schöne Band giebt eine eingehende Darstellung der Untersuchungen, durch welche diese Aufgabe von Langley und seinen Mitarbeitern W. Hallock, F. L. O. Wadsworth, R. C. Child, C. G. Abbot und F. E. Fowle in Washington in den Jahren 1891 bis 1899 gelöst worden ist.

Bei der ungeheuren Anzahl Fraunhofer'scher Linien, welche auch diesen Theil des Sonnenspektrums durchsetzen und welche sich als Senkungen in der Energiekurve der Sonnenstrahlung kund thun, gab Langley die früher von ihm benutzte und für die meisten spektrobolometrischen Zwecke noch jetzt vorzüglich geeignete subjektive Beobachtungsmethode auf und ging zu einer selbstregistrirenden Methode, der *„spektrobolographischen"* über.

Der Spektrobolograph ist ein Spektrobolometer (vgl. *diese Zeitschr. 4. S. 30. 1884*), bei welchem der Prismentisch des Spektrometers durch ein Uhrwerk kontinuirlich gedreht wird, sodass die verschiedenen Theile des Spektrums nach einander über den Bolometerstreifen

hinwegwandern. Die durch die Bestrahlung des Bolometers hervorgebrachte Galvanometerablenkung wird durch einen vom Galvanometerspiegel reflektirten Lichtzeiger auf einer photographischen Platte registrirt, welche von demselben Uhrwerk bewegt wird. Die so entstehenden Bologramme stellen also Energiekurven dar, deren Abszissen der prismatischen Ablenkung, deren Ordinaten der Intensität der Strahlung proportional sind.

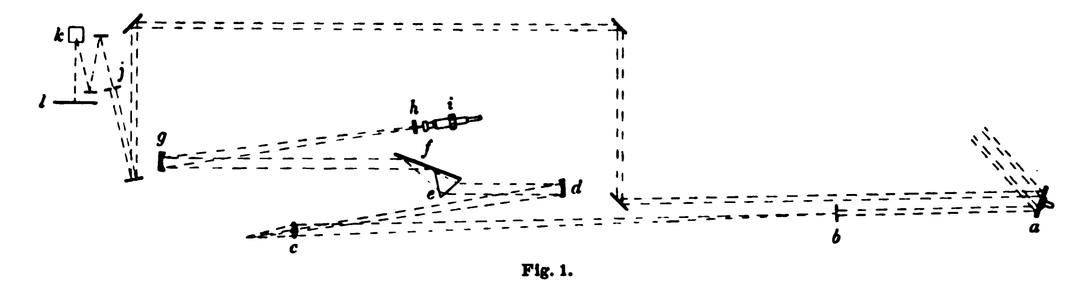


Fig. 1.

Um dem Spektrum bei sehr grosser Auflösung genügende Lichtstärke zu verleihen, wurde ein Spektrometer von ausserordentlich grossen Dimensionen angewandt. Der Silberspiegel *a* (Fig. 1) eines Siderostaten, 46 *cm* im Durchmesser, warf die Sonnenstrahlung auf den 10 *cm* hohen Spektrometerspalt *b*. Der Kollimator war nach dem Prinzip des Teleobjektivs gebaut; er bestand aus einem System von zwei zylindrischen Silberspiegeln, von denen der

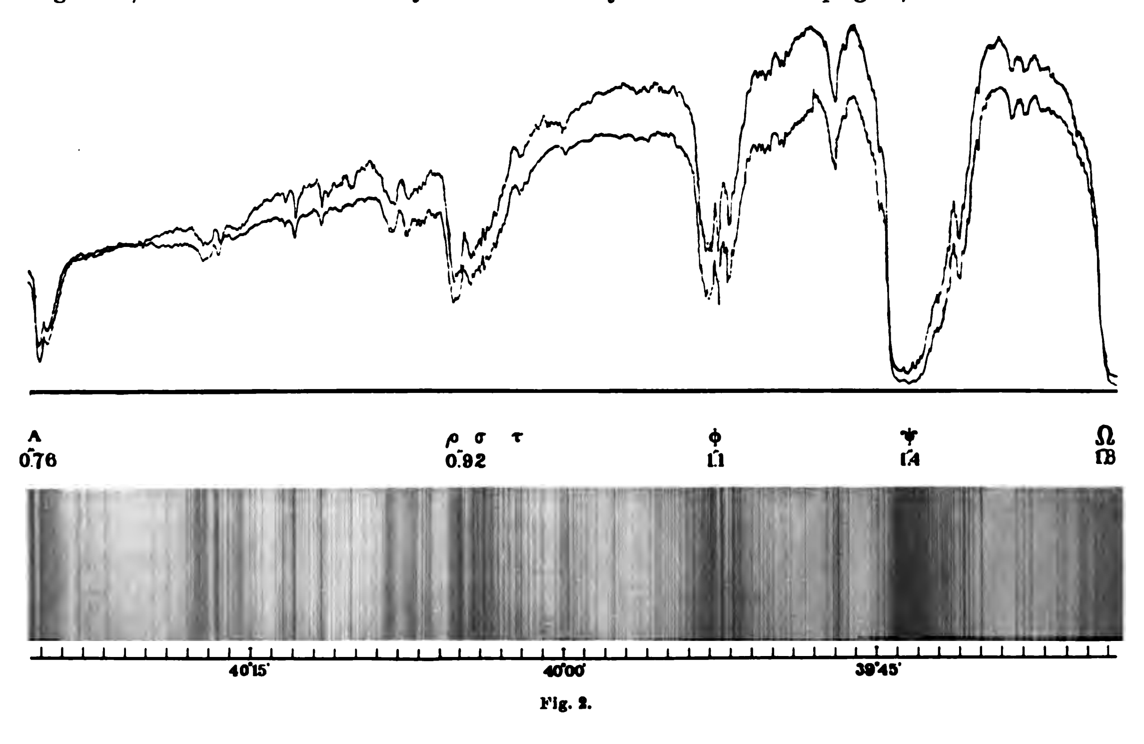


Fig. 2.

erste *c* konvex, der zweite *d* konkav war. Die Entfernung *b c* betrug 790 *cm*, *c d* 487 *cm*, das Kollimatorsystem entsprach einer Brennweite von 64 *m*. Die aus *d* parallel austretenden Strahlen fielen auf das Prisma *e* und dann auf den mit dem Prisma fest verbundenen ebenen Silberspiegel *f*, durch welchen die unter dem Minimalwinkel der Ablenkung austretenden Strahlen parallel der Einfallsrichtung reflektirt wurden. Als Prisma diente ein Steinsalzprisma von nahe 60° brechendem Winkel, dessen Flächen 13 *cm* breit und 19 *cm* hoch waren. Ein Flintglasprisma von ähnlichen Dimensionen wurde zu Kontrolmessungen benutzt. Die aus *f* parallel austretenden Strahlen wurden durch den Hohlspiegel *g* auf den Bolometerstreifen bei *i* konzentrirt. Die zylindrische Steinsalzlinse *h* mit horizontaler Achse drängt

die Höhe des Spektrums auf die des Bolometerstreifens zusammen. Diese betrug 12 *mm*, während die Breiten der angewandten Bolometer zwischen 0,03 und 0,3 *mm* schwankten. Die Spaltbreite war in der Regel so gewählt, dass das Spaltbild das Bolometer gerade bedeckte. Bei der grossen Brennweite des Kollimators brauchte der Spalt in keinem Fall enger als 0,1 *mm* zu sein, gewöhnlich war seine Breite für die kürzesten untersuchten Wellen etwa 0,5 *mm* und er wurde dann beim Vordringen zu den weniger intensiven Spektralgegenden etappenweise auf 2 bezw. 4 *mm* erweitert[1]). Seine Winkelausdehnung am Ort des Bolometers betrug für eine Spaltbreite von 0,5 *mm* nur 1,5″ und die Auflösung des Spektrometers war eine solche, dass die Lage einer Linie mit einem wahrscheinlichen Fehler von nicht mehr als 0,1 *mm*, d. h. etwa 0,6″ behaftet ist, eine Auflösung, welche die beste mit Okularbeobachtung erreichbare noch etwas übertreffen soll. Das Bolometer war ein Langley'sches Linearbolometer, dessen beide Zweige aus demselben Stücke eines dünnen Wollaston'schen Drahtes geschnitten sind. Der Draht wird flach gehämmert und das Silber abgeätzt; dann wird er in zwei gleiche Theile zerschnitten und ihre Enden werden an Metallstücke angelöthet, welche am Bolometerrahmen befestigt sind. Durch Probiren wird der Widerstand beider Drähte bis auf 1 % gleich gemacht. Endlich werden die Drähte über brennendem Kampher berusst.

Der Theilkreis des Spektrometers hatte einen Durchmesser von 50 *cm*. Der Prismentisch mit den Nonien wurde von einer durch das Uhrwerk gedrehten Stange mit Hülfe einer Zahnradübertragung und einer Schraube so bewegt, dass einer ganzen Umdrehung der Stange eine Drehung des Prismas um 1′ entsprach. Ein Durchgang durch das ganze untersuchte Spektralgebiet erfordert eine Drehung des Steinsalzprismas um 1° 45′, wobei in der Regel die Geschwindigkeit von 1′ pro Minute innegehalten wurde. Eine zweite von dem Uhrwerk gedrehte Stange bewegte gleichzeitig den Schlitten, welcher die photographische Platte trug, mit Hülfe einer ähnlichen Uebertragung mit der Geschwindigkeit von 1 *cm*

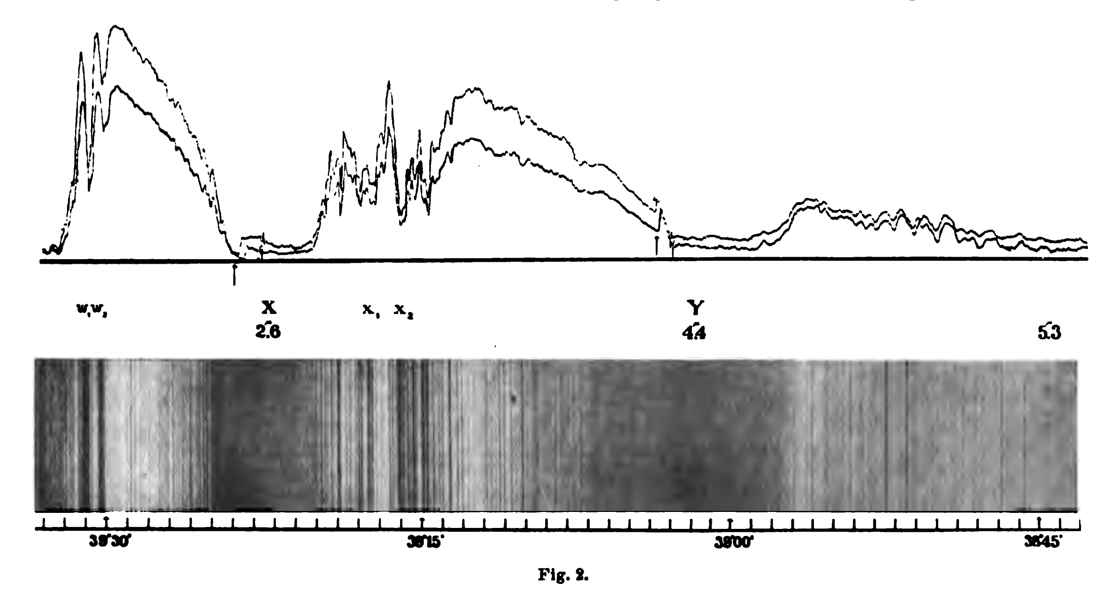


Fig. 2.

pro Minute in vertikaler Richtung auf- oder abwärts. Die Länge eines vollständigen Bologrammes betrug daher 105 *cm*. Es wurden jedoch nur Platten von 60 *cm* Länge benutzt und das Spektrum in zwei Theilen aufgenommen.

In Fig. 1 sieht man auch den Weg, auf dem ein Theil der Sonnenstrahlung am Spiegel *a* des Siderostaten nach mehrfachen Reflexionen zum Spalt *j* gelangt, welcher als Lichtquelle für die Registrirung der Bewegungen des Galvanometerspiegels *k* auf der photographischen Platte *l* dient.

---

[1]) In der Energiekurve der Fig. 2 (rechte Hälfte) sind diese Stellen durch einen Pfeil bezeichnet.

Wenn die selbstregistrirende Methode exakte Resultate geben soll, müssen drei Bedingungen erfüllt sein.

1. Die Bewegungen des Prismas und der photographischen Platte müssen genau gleichmässig sein.
2. Die Galvanometerausschläge müssen ohne merkliche Trägheit erfolgen.
3. Die Ruhelage des Galvanometers muss vollkommen konstant sein.

Die Erfüllung der ersten Bedingung scheint durch gute mechanische Vorrichtungen verhältnissmässig leicht erreicht worden zu sein. Die auch bei den sehr empfindlichen und leichten Galvanometersystemen noch vorhandene Trägheit konnte zum grössten Theil in den Resultaten durch Kombination je zweier Bologramme eliminirt werden, von denen das eine von kleineren Wellenlängen zu grösseren fortschreitend, das zweite im entgegengesetzten Sinne aufgenommen wurde. Die Dauer einer einfachen Schwingung des Galvanometers betrug ungefähr 4 Sekunden. Grosse Schwierigkeiten bereitete die Erfüllung der Bedingung 3. Die Ruhelage des Galvanometers wird einmal gestört durch äussere Erschütterungen und äussere magnetische und elektrische Einflüsse, dann aber durch Widerstandsänderungen im Bolometer, welche durch Temperaturänderungen hervorgebracht werden. Diese letzteren Störungen bezeichnet man als „*drift*" des Galvanometers. Die Ueberwindung aller dieser Fehlerquellen war um so schwieriger, als die Untersuchung inmitten des Treibens einer amerikanischen Grossstadt ausgeführt wurde, in einem hölzernen Gebäude, welches ursprünglich nur als Laboratorium für Vorversuche geplant war. In mühevoller Arbeit wurden im Laufe der Jahre durch Aufbau isolirter Pfeiler, Julius'sche Aufhängung des Galvanometers, Einbauen doppelter Wände in das Innere des Gebäudes, durch eine komplizirte Heiz- und Kühlanlage, durch besonderen Wärmeschutz des Bolometers alle diese Hindernisse allmählich überwunden, und man kann es wohl verstehen, dass der Verf. angesichts der zahllosen sich aufthürmenden Schwierigkeiten mehr als einmal den Muth verlor und glaubte, unter diesen Umständen die Arbeit aufgeben zu müssen. Schliesslich gelang es, des so störenden „*drift*" durch folgende Anordnung des Bolometers Herr zu werden. Bolometer nebst Kompensationswiderständen wurde in eine durch Wasserspülung auf konstanter Temperatur gehaltene Metallhülse eingeschlossen, in welche die Strahlung durch ein Steinsalzfenster eintrat. Es wäre wohl leichter gewesen, diese Schwierigkeiten zu überwinden, wenn statt des Langley'schen Linearbolometers ein Lummer-Kurlbaum'sches benutzt worden wäre, dessen Konstruktionsprinzip es ermöglicht, die beiden Bolometerzweige in jeder Beziehung fast genau gleich zu machen und den elektrischen Einfluss thermischer Störungen erheblich zu verringern.

Die Resultate der Untersuchung sind in einer Anzahl von Energiekurven niedergelegt. Der obere Theil von Fig. 2 zeigt zwei solche Kurven von verschiedenen Tagen des Jahres 1898 auf etwa $^1/_3$ verkleinert. Aus ihnen ist durch eine nahezu automatische Manipulation oder eigentlich durch eine ziemlich willkürliche Kombination zweier automatischer Operationen das Spektralbild des unteren Theils von Fig. 2 entstanden, welches zeigen soll, wie sich das Spektrum darstellen würde, wenn man es direkt mit den Augen — allerdings farblos — sehen oder photographisch wiedergeben könnte. Wenn die Energiekurve auch weit mehr giebt, als dieses Spektralbild, da sie nicht nur die Lage der Fraunhofer'schen Linien, sondern auch die Intensitätsvertheilung im Spektrum darstellt, so kann das Bild doch dazu dienen, unserem an diese Art der Darstellung gewöhnten Auge die Resultate anschaulicher und leichter verständlich zu machen. So kann uns selbst eine schlechte Uebersetzung dazu verhelfen, in den Geist eines in fremder Sprache geschriebenen Werkes leichter und bequemer einzudringen, als es an der Hand des Originals möglich wäre. Ob aber auch tiefer? Jedenfalls würde es eine höhere Stufe der Spektroskopie bedeuten, wenn es gelänge, alle Spektren in Gestalt von Energiekurven darzustellen, und wenn wir uns daran gewöhnen würden, alle Spektren in dieser Darstellung zu betrachten und zu beurtheilen.

Die in den Energiekurven vorhandenen Senkungen entsprechen grösstentheils Absorptionslücken in der Sonnenstrahlung, zum Theil werden aber auch Einsenkungen vor-

kommen, welche durch Versuchsfehler, d. h. zufällige Störungen verursacht sind. Auf die Trennung der wirklichen Absorptionslinien von den scheinbaren ist grosse Sorgfalt verwendet worden. Durch ein scharfes Kontrolsystem, Ausmessung und Vergleichung der verschiedenen Bologramme mittels des Komparators durch zwei von einander unabhängige Beobachter glaubt Langley mit grosser Sicherheit den Weizen von der Spreu gesondert zu haben. In zwei grossen Tabellen sind die Ablenkungen von 579 Linien nach den Aufnahmen mit dem Steinsalzprisma und von 534 Linien nach den Aufnahmen mit dem Glasprisma von beiden Beobachtern gegeben. Dann folgt eine Tabelle für die relative Intensität der Linien, ferner zwei Tabellen für die Wellenlängen der Linien, beim Steinsalzprisma 579 Linien zwischen 0,7596 und 5,3386 μ, beim Flintglasprisma 549 Linien zwischen 0,7601 und 1,9763 μ, endlich eine zusammenfassende Tabelle, in welcher der Reihe nach ohne Rücksicht auf das benutzte Prisma die Linien zwischen 0,7601 und 5,3386 μ — 740 an Zahl — aufgeführt sind. Jede Linie trägt eine Bezeichnung a, b, c oder d. Die Klasse a umfasst etwa ein Dutzend sehr grosse Absorptionslücken, Klasse b auch noch grosse Einsenkungen von mehr als 5 *mm* Tiefe, Klasse c Senkungen von 2 bis 5 *mm* Tiefe, Klasse d kleine Senkungen, welche aber wegen ihrer mehrfachen Beobachtung als reell betrachtet werden. Ihre Tiefe ist geringer als das Fünffache des Mittelwerthes der zufälligen Bewegungen des Galvanometerspiegels, welche auch ohne Strahlung auftreten. Bei einer grossen Anzahl von Linien, welche in breiten Banden angeordnet sind, geht es schon aus der mit dem Sonnenstande und dem Zustand der Atmosphäre stark veränderlichen Intensität hervor, dass sie irdischen Ursprungs sind, hervorgebracht durch Absorption in der Erdatmosphäre. Sie fallen grösstentheils mit denjenigen Stellen des Spektrums zusammen, an denen die bekannten Absorptionsbanden von H_2O und CO_2 liegen. Bei den der Sonne angehörigen Linien bleibt noch eine grosse Arbeit zu thun, ehe es gelingen wird zu konstatiren, welchen Elementen die einzelnen Linien entsprechen, ehe also die Spektralanalyse der Sonne in dem von Langley untersuchten Gebiete auf die gleiche Stufe gebracht sein wird wie die des sichtbaren Spektrums. Welche Erkenntnisse sonst noch aus diesen Bologrammen zu ziehen sind, z. B. ob die charakteristischen Verschiedenheiten, welche die in verschiedenen Jahreszeiten aufgenommenen Kurven zeigen, für die Meteorologie werthvolle Schlüsse erlauben, das sind Fragen, welche erst allmählich der Beantwortung entgegenreifen können.

E. Pringsheim.

Apparat zur Aufnahme von Wechselstromkurven.

Von R. Goldschmidt. *Elektrotechn. Zeitschr.* **23.** *S. 496. 1902.*

Der Apparat besteht aus einem schmalen, hufeisenförmigen Eisenkern A (Fig. 1), der aus 5 bis 6 Blechen von 0,4 *mm* Stärke zusammengesetzt ist und eine Spule S_1 trägt, die von der aufzunehmenden Wechselspannung erregt wird. Auf den Schenkeln sitzen zwei in Serie geschaltete sekundäre Spulen S_2 S_2. Vor den Polen des Elektromagneten bewegt sich eine Trommel B, in welche vier Eisenstreifen C eingesetzt sind.

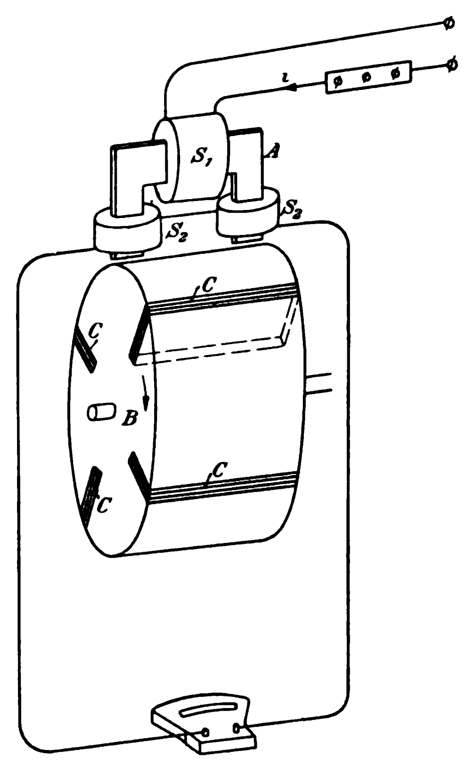


Fig. 1.

Wird nun die Trommel so rasch gedreht, dass sie während vier Perioden des Wechselstromes eine Umdrehung macht, so wird in jeder Periode einmal, während die Spannung

dieselbe Phase besitzt, der magnetische Kreis von A geschlossen. Ein an S_2 angeschlossenes Wechselstromvoltmeter macht also eine diesem Augenblickswerth proportionale Angabe. Dreht man den Elektromagneten langsam um die Trommelachse weiter (vgl. die den Apparat in Ansicht darstellende Fig. 2), so erhält man die Augenblickswerthe für andere Phasen.



Fig. 2.

Der Apparat beruht also auf der alten Joubert'schen Methode der punktförmigen Aufnahme durch Momentankontakte; nur dass diese Momentankontakte nicht mechanisch, sondern magnetisch gemacht werden. In ganz ähnlicher Weise hat seiner Zeit Max Wien die mechanischen Kontakte eines Unterbrechers durch die magnetischen seiner Wechselstromsirene ersetzt (s. *Wied. Ann.* ***66.*** *S. 859. 1889*; vgl. auch *diese Zeitschr.* ***21.*** *S. 308. 1901*).

E. O.

Neu erschienene Bücher.

A. Gleichen, Lehrbuch der geometrischen Optik. (Aus Teubner's Sammlung v. Lehrbüchern auf dem Gebiete d. mathemat. Wissenschaften m. Einschluss ihrer Anwendgn. VIII. Bd.) XIV, 511 S. m. 251 Textfig. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner 1902. Geb. in Leinw. 20,00 M.

Nach den früheren Arbeiten des Verf. auf dem Gebiete der geometrischen Optik dürfte man das Buch, dem ein vielversprechendes Vorwort vorausgeschickt ist, mit einiger Erwartung in die Hand nehmen. Ich will gleich vorwegnehmen, dass ich nicht wenig erstaunt war, als mir die Beschäftigung mit dem Buche seine Schwächen enthüllte. Nicht die Bedeutung des Buches hat mich somit zu einer ausführlicheren Kritik bewogen, sondern die Meinung, dass der praktische Optiker nicht immer über die Musse zu einer gründlichen Nachprüfung des Gebotenen verfügen wird. Für den praktischen Optiker scheint das Buch aber vornehmlich bestimmt zu sein, sagt der Verf. doch selbst in der Vorrede, er habe sich bemüht, „durch Zahlenbeispiele, Durchführung trigonometrischer Rechnungen, Tabellen, An-

gabe von Formelsystemen für spezielle optische Systeme, Mittheilung von Konstruktionsdaten bewährter und historisch interessanter Linsenkombinationen das Rüstzeug der modernen konstruktiven Optik in möglichster Vollständigkeit herbeizuschaffen".

Ueber den erreichten Grad der Vollständigkeit will ich mit dem Verfasser weniger rechten; bei einem Lehrbuch würde ich mehr Werth auf eine Sichtung des Materials legen, zu der in diesem Falle ein kritisches Augenmaass für die Bedürfnisse der Praxis erforderlich wäre. In diesem Punkte scheint mir der Verfasser gefehlt zu haben. An Stelle der veralteten Herschel'schen und Littrow'schen Tabellen für Fernrohrobjektive hätte ich lieber die instruktiven Tabellen von C. V. L. Charlier (*Vierteljahrsschrift d. Astr. Ges. 1896. S. 266*) gesehen. Um die Durchrechnung eines photographischen Objektivs zu erläutern, werden 34 Seiten mit Zahlen bedeckt, indem für 8 Strahlen mit endlicher Einfallshöhe und für 6 dünne Büschel mit endlicher Hauptstrahlneigung die vollständigen Rechnungen mitgetheilt werden, wo doch mit je einem Strahl und einem Büschel das Verfahren genügend gekennzeichnet gewesen wäre. Der Verfasser hat die Hälfte des Goerz'schen Doppelanastigmaten als Beispiel gewählt; der allgemeinere und praktisch wichtige Fall des Doublets mit Mittelblende (etwa das achromatische Periskop von H. Schroeder mit nur 5 Flächen) lag doch näher, zumal hierfür der Gang der Rechnung von L. Wanach (*diese Zeitschr.* **20.** *S. 161. 1900*) auseinandergesetzt war. Die von A. Kerber (*Centralztg. f. Opt. u. Mech.* **11.** *S. 73. 1890*) gegebenen Durchrechnungsresultate für ein starkes Mikroskopobjektiv fanden keine Aufnahme.

Während für zwei Voigtländer'sche Euryskope, die doch nur eine späte Variation des Steinheil'schen Aplanattypus sind, die Durchrechnungsresultate umständlich mitgetheilt werden, erfährt man über den Korrektionszustand originaler, historisch und noch heute wichtiger Typen wenig oder gar nichts. Freilich gehört dazu eine verständnissvollere Würdigung von Objektivkonstruktionen, als sie der Verfasser in der Bemerkung *S. 416* offenbart: „Es ist selbstverständlich, dass, nachdem einmal die Aufhebung des Astigmatismus bei einem Typus geglückt war, noch eine Anzahl neuer Konstruktionen mit demselben Erfolg ausgeführt wurden, so das „Planar" und „Unar" von Zeiss, das „Apochromatkollinear" von Voigtländer u. s. w.". Der Verfasser erkennt also nicht den Unterschied zwischen der Errechnung eines neuen Typus (Planar sowohl als Unar) und der Einführung neuer Glasarten in einen alten Typus (Fall des Apochromatkollinears); letzteres Objektiv ist doch nur eine Variation des Kollineartypus entsprechend den neuen Gläsern mit günstigerem Gang der Dispersion. Die Abweichung dieser Gläser von den alten, wie sie sich in dem das Kollinear charakterisirenden D.R.P. Nr. 88 505 finden, beträgt im ν-Werth nicht mehr als eine Einheit, im Brechungsexponenten ist sie nur bei einem Glase merklicher, nämlich 2 Einheiten der 2. Dezimale. War übrigens beim Planar, um dieses als das krasseste Beispiel anzuführen, der Erfolg nur derselbe wie bei den älteren Anastigmaten?

Die historische Entwicklung der Optik ist dem Verf. ein ziemlich fremdes Gebiet, doch würde es zu weit führen, alle die Fälle anzuführen, in denen die Prioritätsrechte älterer Schriftsteller und Erfinder übergangen sind. Wie wenig er die Literatur kennt, wollen wir an einem Fall zeigen, über den wir uns noch von anderen Gesichtspunkten aus mit ihm auseinandersetzen müssen. Die Beziehung zwischen der Sinusbedingung und der Komafreiheit für achsennahe Punkte ist in jüngster Zeit zweimal von L. Seidel und A. Kerber (vgl. die Referate in *dieser Zeitschr.* **19.** *S. 155. 1899* und **20.** *S. 95. 1900*) einer gründlichen Erörterung unterzogen worden. Dem Verf. muss dieses entgangen sein, wie hätte er sonst auf *S. 177* und *178* einen falschen algebraischen Ausdruck für die Sinusbedingung bei kleiner Systemöffnung ableiten können. Er hätte auch gefunden, dass der richtige Ausdruck übereinstimmt mit der Nullsetzung der Formel 8 *S. 118* der „Theorie der optischen Instrumente" von S. Czapski (obwohl sich der Verf. *S. 151 bis 157* eng an Czapski anlehnt, wird diese wichtige Formel unterdrückt). Durch seine falsche Formel irregeführt, beschränkt der Verf. die Gültigkeit dieser Identität auf Systeme dünner sich berührender Linsen; im Widerspruch damit soll sie jedoch *S. 411* für photographische Objektive bestehen, die im Allgemeinen auch nicht angenähert als solche Systeme angesehen werden können. Die Verwirrung wird noch

erhöht, indem *S. 323* behauptet wird, die Harting'schen Tabellen für verkittete Fernrohrobjektive seien auf Grund der Formel VI *S. 177* berechnet, während die (ebenfalls unrichtige) Formel 14 *S. 157* benutzt ist. Wie der Verf. im Uebrigen mit dem Begriff der Koma umspringt, zeigt *S. 412*. Aus der „Kontinuität der optischen Gesetze" wird gefolgert, dass die Hälfte eines symmetrischen Objektivs komafrei ist; dann ist es freilich nicht mehr wunderbar, dass auch das ganze Objektiv für symmetrischen Strahlengang komafrei ist.

Ich kann ferner nicht billigen, dass *S. 373* die Sinusbedingung etwas mit unverzerrter Abbildung zu thun haben soll und dass *S. 475* die Koma mit der sphärischen Aberration ausser der Achse identifizirt wird.

Ueber die Bedeutung der Petzval'schen Formel für die Bildkrümmung sind in der Literatur mancherlei widersprechende Ansichten laut geworden. Der Verf. hat dies bemerkt und giebt *S. 486* seiner Verwunderung darüber Ausdruck; macht sich bei ihm doch Alles so einfach. Wir wollen ihm auf seinem Wege folgen. Die in den § 178 und 179 gegebene kurze Ableitung für die Petzval'sche Formel ist schon vor beinahe 50 Jahren von L. Seidel kritisirt worden (*Astr. Nachr. 1856. Nr. 1027 bis 1029. S. 323 Anm.*; es wird auch sonst nahegelegt, dass der Verf. den Inhalt dieser fundamentalen Abhandlung nicht kennt). L. Seidel nennt die Ableitung „höchst ungenügend, weil es nicht klar ist, unter welchen Umständen man berechtigt ist, die Spitzen der Brennflächen statt neuer Objekte zu setzen, d. h. einen Theil der Kugelabweichung zu vernachlässigen, der von gleicher Ordnung mit der gesuchten Abweichung ist". In § 180, wo der Gültigkeitsbereich der Petzval'schen Formel abgegrenzt werden soll, stösst der Verf. selbst auf diese Schwierigkeit; es soll hier der Uebergang von der ersten zur zweiten brechenden Fläche veranschaulicht werden. Er macht aber nicht viel Umstände, sondern nimmt eben an, „dass die Strahlenvereinigung in Q" (mit der kleinen Hauptstrahlneigung dw) „so intensiv ist, dass wir das einfallende Büschel nach der ersten Brechung als aberrationsfrei annehmen können". Ich bemerke dazu, dass er mit dieser Annahme nicht einmal auskommt, sondern dass er auch in den Bildpunkten auf den intermediären Hauptstrahlen (mit Neigungen zwischen 0 und dw) eine ebenso gute Strahlenvereinigung anzunehmen hätte. Ferner muss der Hauptstrahl, „sobald er durch seine Richtung die Spitze der Kaustik bestimmt hat, bei der nächsten Brechung die Rolle als Hauptstrahl an einen anderen Strahl des Bündels" abgeben. Auf *S. 181* gingen die Hauptstrahlen durch die Mitte der „wirksamen" Blende, wie der Verf. nicht gerade glücklich statt Aperturblende zu sagen pflegt. An dieser Zwiespältigkeit des Hauptstrahlbegriffes nimmt er aber keinen Anstoss, er sucht sie vielmehr zu befestigen, indem er fortfährt: „Nun verlangen aber gerade eine Anzahl der wichtigsten optischen Instrumente die Erfüllung der Bedingung, dass die Hauptstrahlen, welche die Abbildung vermitteln, vor und nach der Brechung durch vorgeschriebene Punkte gehen. Hierauf beruht im Wesentlichen die von Abbe entwickelte Theorie der Strahlenbegrenzung. In solchen Fällen des zwangsweisen Verlaufs der Strahlenbündel oder, anders ausgedrückt, im Fall einer durch die Einrichtung (Blendenstellung) des Systems systematisch vorgenommenen Auswahl der bilderzeugenden Strahlenbündel kann die Petzval'sche Formel Gültigkeit nicht mehr behaupten. Im letzteren Falle muss vielmehr der Ort, in welchem sich die Hauptstrahlen schneiden, bestimmend sein für die Krümmung des Bildes". Diese (thatsächlich allgemein gültigen) Formeln werden im § 184 ohne Ableitung und Diskussion mitgetheilt. Nach den zitirten Sätzen scheint der Verf. die irrige Ansicht zu haben, dass es für die Abbildungsgesetze etwas ausmacht, ob der Strahlengang von dem Konstrukteur zu bestimmten Zwecken durch besondere in dem optischen System vorgesehene Blenden oder ob er ohne sein Zuthun etwa durch Linsen- und Fassungsränder begrenzt wird; dass eine Abbildung ohne Strahlenbegrenzung faktisch stattfinden könne, wird doch auch der Verf. nicht annehmen wollen.

Bei Fernrohrobjektiven und -okularen sind nach § 242 und 248 die Formeln des § 184 zur Bestimmung der Bildkrümmung für meridionale und sagittale Büschel anzuwenden. Was aber der Verf. bei photographischen Objektiven für richtig hält, ob hier etwa das System unter Umständen des „zwangsweisen" Strahlengangs ledig wird, oder ob auch hier immer

die Formeln des § 184 angewendet werden sollen, ist mir aus dem § 315: „Der Petzval'sche Satz und die Anastigmate" nicht klar geworden; ist etwa das „Vorhandensein eines stark markirten Blendenmittelpunktes, in dem alle Hauptstrahlen sich kreuzen", wie es hier heisst, ein scharfes Kriterium? Statt hier seine Theorie zu Schlussfolgerungen zu verwerthen, zieht der Verf. vor, Behauptungen aufzustellen, die in dem Satze gipfeln: „Hat man in einem System auf irgend eine Weise innerhalb eines endlichen Raumwinkels punktweise Strahlenvereinigung erreicht, so ist innerhalb dieses Gebietes nahezu Bildebenung vorhanden, wenn das System die Petzval'sche Bedingung erfüllt". Die „punktweise" Strahlenvereinigung, heisst es weiter, „setzt voraus die Aufhebung der sphärischen Aberration in der optischen Achse, die Erfüllung der Sinusbedingung und die Aufhebung des Astigmatismus *bei endlicher Neigung der Hauptstrahlen*". Wie Verf. zu diesen Behauptungen kommt, erfährt man nicht. Wie kann der Verf. ferner ohne Weiteres dem, was er im § 186 für dünne sich berührende Linsen folgerte, auf *S. 487* eine Bedeutung für Anastigmate beilegen? Dem haben doch bereits die Thatsachen widersprochen.

Hier ist auch das anzureihen, was der Verf. im § 317 über H. D. Taylor's Stellung zum Petzval'schen Theorem berichtet. Ein Satz aus dessen englischem Patent Nr. 22 607 (November 1893) wird durch die Bemerkungen erläutert: „Der Ausdruck *„focal power"* einer Linse ist allerdings nicht ganz klar, denn die reziproke Brennweite der Linse ist damit nicht gemeint, wie eine einfache Durchrechnung zeigt", und weiter unten: „Betrachtet man die Linsen genauer, so erkennt man, dass Taylor unter *„Fokalkraft"* einer Linse mit den Radien r_1 und r_2 den Ausdruck

$$x_1 = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}$$

versteht und sein Konstruktionsprinzip in der Gleichung

$$\Sigma x = 0$$

besteht. Diese letztere Gleichung hat allgemein gar keine theoretische Berechtigung. Man kann aber nachweisen, dass sie unter der Voraussetzung von Brechungsexponenten zwischen 1,5 und 1,6 eine sehr praktische Näherungsformel für die Petzval'sche Gleichung ist". Ob ein Bedürfniss nach dieser Näherungsformel vorliegt, will ich nicht untersuchen, auch nicht, wie wohl der Verf. seine Berechnungen und Betrachtungen angestellt haben mag, ich möchte nur darauf hinweisen, dass Taylor seine theoretischen Ausführungen in den englischen Patenten Nr. 1991 (Januar 1893) und Nr. 15 107 (August 1895) unzweifelhaft auf die Petzval'sche Gleichung $\Sigma \frac{1}{nf} = 0$ stützt und dass er in dem letzteren Patent auf *S. 16* ausdrücklich sagt: *„f = the focal length and therefore* $\frac{1}{f}$ *the focal power."* Sollte Taylor wirklich binnen $2^1/_2$ Jahren seine Ansichten zweimal gewechselt haben?

Die im § 234 wiedergegebenen, anderen Autoren zugeschriebenen Ansichten über Bildkrümmung und Verzeichnung bei Fernrohrobjektiven sind mit dem, was der Verf. an anderen Stellen (§ 125, 128, 155 bis 157 und 242) auseinandersetzt, nicht vereinbar. Da es sich hier nicht um Hypothesen handelt, kann nur *eine* Ansicht Berechtigung haben; welche von beiden diese aber ist, muss der Leser selbst herausfinden, der Verf. hält es nicht für angezeigt, ihn darüber aufzuklären.

Im § 246 beschäftigt sich der Verf. mit den Bedingungen für die Orthoskopie des astronomischen Okulars. Er übersieht aber den Kernpunkt; es ist nebensächlich, ob die Brennweite des Objektivs so gross ist, dass man die Eintrittspupille des Okulars ins Unendliche verlegen kann, die Besonderheit des Falles liegt vielmehr darin, dass man annehmen kann, das Okular entwirft ein Bild im Unendlichen, dann ergiebt sich aber die erste Bedingung des Verf., die Aufhebung der sphärischen Aberration der Austrittspupille, als überflüssig.

Den Entwickelungen des § 288, die zur Ermittlung der Beleuchtungsstärke eines ausserachsialen Flächenelements bei Objektiven mit anastigmatischer Bildfeldebnung dienen, liegt die stillschweigend gemachte Voraussetzung zu Grunde, dass die Pupillenmitten aplanatische

Punkte im Sinne Abbe's sind. Nach einem wichtigen Satze der Dioptrik, den ich allerdings in dem vorliegenden Buche nicht finde, können diese Punkte im Allgemeinen nicht zugleich orthoskopische sein, wie der Verf. zur Vereinfachung seiner Formeln und zwar in diesem Falle ausdrücklich annimmt.

Unter den „in erster Linie für die allgemeine Theorie (des Mikroskops) in Frage kommenden" Abhandlungen führt der Verf. die von E. Abbe, die einen stattlichen Band füllen möchten, nicht auf. Er scheint auch nicht direkt aus ihnen geschöpft zu haben; aber selbst das Studium des von ihm zitirten Dippel'schen „Handbuchs der Mikroskopie" hätte ihn darüber aufklären können, dass die Abbe'sche Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung nicht, wie er meint, „zu denselben Resultaten gelangt, wie sie die Methode der geometrischen Optik direkt liefert." Wäre das der Fall, so müsste man sich darüber wundern, dass die Lehrbücher der praktischen Mikroskopie sich mit dieser Theorie eingehender befasst haben.

Die wissenschaftliche Methode des Verf. dürfte zur Genüge gekennzeichnet sein. Die Form der Darstellung lässt nicht minder an vielen Stellen zu wünschen übrig, die Angaben sind ungenau, der Ausdruck ist schief; ungesuchte Belege dafür sind die zitirten Sätze. Muss man auch anerkennen, dass der Verf. sich viel Mühe gegeben hat, die allgemeinen Sätze durch Beispiele und Anwendungen auf einfache Fälle zu erläutern, so stören doch die häufigen Wiederholungen und die Zersplitterung des Stoffs. Indem der Verf. gelegentlich auf die Quellen zurückging, hat er dem Buch eine gewisse Eigenart zu geben gesucht, er ist aber in den nicht einmal auf breiter Grundlage angelegten Vorarbeiten stecken geblieben. *A. K.*

Handbuch d. Elektrotechnik, hrsg. v. Prof. Dr. C. Heinke. I. Bd. 1. Abthlg. Lex. 8°. Leipzig, S. Hirzel. Geb. in Leinw.

I, 1. C. Heinke u. H. Ebert, Die Elektrophysik u. die Theorie des Elektromagnetismus. 1. Abthlg.: Die Entwickelung der Elektrophysik. Die Hülfsvorstellgn. der Elektrophysik. — Elektrische Spannungserregg. u. dielektr. Erscheingn. Bearb. v. C. Heinke. XIV, 408 S. m. 77 Abbildgn. 1902. 18,00 M.

Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher u. Aerzte. 73. Versammlg. zu Hamburg am 22.—28. IX. 1901. Hrsg. im Auftrage des Vorstandes u. der Geschäftsführer v. A. Wangerin. II. Thl. in 2 Hälften. gr. 8°. Leipzig, F. C. W. Vogel.

II, 1. Naturwissenschaftl. Abtheilungen. X, 297 S. m. 18 Abbildgn. 1902. 6,00 M. — II, 2. Medizinische Abtheilungen. XVIII, 649 S. m. 15 Abbildgn. 1902. 12,00 M.

A. Stange, Einführung in die Geschichte der Chemie. gr. 8°. 308 S. m. 12 Taf. u. 1 Tab. Münster, J. Grubert 1902. Geb. in Leinw. 3,00 M.

Notiz.

In meinem Referat über Kayser's Handbuch der Spektroskopie 1. Bd. in *dieser Zeitschr.* **22.** *S. 319. 1902* steht auf *S. 323* der Satz: „Während die sämmtlichen auf diesen Gegenstand bezüglichen Publikationen von Michelson, Fabry und Perot angeführt werden, finden sich die Namen Haidinger und Lummer gar nicht erwähnt; bekanntlich hat letzterer zuerst und unabhängig von Neuem die Haidinger'schen Ringe ausführlich theoretisch und experimentell behandelt (*Wied. Ann.* **23.** *S. 49. 1884*)."

Die Behauptung, dass Lummer zuerst die Ringe wieder untersucht hat, ist jedoch ein Irrthum, wie ich nachträglich bemerkt habe. Vor Lummer hat nämlich Michelson in einer kurzen, aber sehr inhaltsreichen Abhandlung „*Interference phenomena in a new form of refractometer*" (*Phil. Mag.* **13.** *S. 236. 1882*) in allgemeiner Weise die Interferenzkurven an zwei Platten theoretisch und experimentell behandelt und dabei auch von Neuem die Haidinger'schen Ringe besprochen. *Schönrock.*

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktionskuratorium:

Geh. Reg.-Rath Prof. Dr. **H. Landolt**, Vorsitzender, Prof. Dr. **A. Westphal**, geschäftsführendes Mitglied,
Prof. Dr. **E. Abbe**, Dr. **H. Krüss**.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

XXII. Jahrgang. **Dezember 1902.** Zwölftes Heft.

Apparate zur Untersuchung von senkrecht zur Achse geschliffenen Quarzplatten auf ihre Güte.

Von

Eugen Brodhun und **Otto Schönrock**.

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt).

Die Untersuchung von Quarzplatten, welche zur Prüfung von Saccharimetern dienen, auf ihre Güte, d. h. auf optische Reinheit, Planparallelismus und Achsenfehler, ist seit dem Jahre 1898 unter die laufenden Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt aufgenommen worden. Die Einrichtungen, welche getroffen sind, um diese Untersuchungen schnell und doch mit grosser Genauigkeit ausführen zu können, sollen im Folgenden beschrieben werden.

1. Untersuchung auf optische Reinheit.

Zur Prüfung der Quarzplatten auf ihre optische Reinheit wird ein mit Quarzkeilkompensation versehener Polarisationsapparat benutzt, welcher mit recht starkem weissen Licht beleuchtet wird. Die kompensirenden Quarze befinden sich möglichst dicht am Analysator, also auch sehr nahe dem Objektiv des astronomischen Beobachtungsfernrohres, während auf die vor dem Polarisator angebrachte zu untersuchende Quarzplatte scharf eingestellt wird. Als Polarisator dient ein einfacher Glan(-Thompson)'scher Nicol; dicht hinter ihm befindet sich die Beleuchtungslinse, welche im Analysator ein Bild der Lichtquelle (am einfachsten Gasglühlicht) entwirft. Dann ist, wenn die zu prüfende Quarzplatte nicht eingeschaltet ist, das Gesichtsfeld vollkommen gleichmässig erleuchtet. Da die kompensirenden Quarze nahezu in der Augenpupille abgebildet werden, brauchen an ihre Güte keine hohen Anforderungen gestellt zu werden. Ihnen etwa anhaftende Mängel sind entweder garnicht sichtbar oder bewirken nur eine geringe Aufhellung des Gesichtsfeldes, wenn auf grösste Dunkelheit eingestellt wird.

Nachdem man die zu prüfende Quarzplatte eingeschaltet hat, hebt man bei gekreuzten Nicols mit der Kompensationsvorrichtung und ev. unter Hinzufügung weiterer Quarzplatten die Drehung möglichst auf und erkennt nun in dem ziemlich dunklen Gesichtsfelde mit grösster Deutlichkeit alle schlechten Stellen in der anvisirten Quarzplatte. Durch Verschieben in ihrer Ebene wird die Platte nach und nach in allen ihren Theilen untersucht.

Wegen der vollkommen gleichmässigen Beleuchtung des Gesichtsfeldes sind selbst sehr schwache Wolkenbildungen erkennbar, namentlich wenn man die Quarzplatte bewegt. Zwillingsbildungen und stärker unhomogene Stellen erscheinen bunt auf dunklem Grunde. Schwächere Streifenbildungen treten beim Drehen der Quarz-

platte in ihrer Ebene besonders in bestimmten Lagen deutlich auf, und zwar meist, wenn die Streifen gegen den optischen Hauptschnitt des Polarisators um 45° geneigt sind.

Um die Quarze leicht am Polarisator vorüberführen zu können, ist vor diesem eine ebene durchbohrte Metallplatte senkrecht zum Strahlengang angebracht. Ziemlich dicke Quarze werden einfach mit weichem Wachs auf eine Metallunterlage gekittet. Dünnere, von 0,3 bis 0,5 *mm* Dicke, welche, wenn man sie mit Wachs festkleben würde, zu leicht zerbrechen könnten, werden auf der in Fig. 1 (²/₃ nat. Grösse) gezeichneten Fassung befestigt, welche für Saccharimeterquarze von nicht mehr als 20 *mm* Durchmesser eingerichtet ist.

Auf der ringförmigen Scheibe *A* lässt sich mittels des Griffs *B* der konzentrisch gelagerte Ring *C* um seinen Mittelpunkt drehen, wobei drei auf *A* angebrachte Stifte und die drei Schlitze *D* in *C* als Führung dienen. Bei dieser Drehung werden in leicht ersichtlicher Weise mit Hülfe der schrägen Schlitze *H* die zur Aufnahme der Quarzplatte dienenden Winkelstücke *F* gegen das Zentrum oder entgegengesetzt bewegt. Nachdem die schwachen Federn, welche gewöhnlich auf den Enden von *F* aufliegen, zur Seite geklappt sind, wird der Ring *C* so eingestellt, dass die Quarzplatte auf die inneren Enden *J* der drei Winkelstücke *F* gelegt werden kann, wobei ein seitliches Verschieben der Quarzplatte durch die nach oben gebogenen Ecken *K* der Winkelstücke verhindert wird. Alsdann klemmt man durch Anziehen der Kordelschraube *L* den Ring *C* fest, legt auf die Quarzplatte die Federn und schraubt diese an.

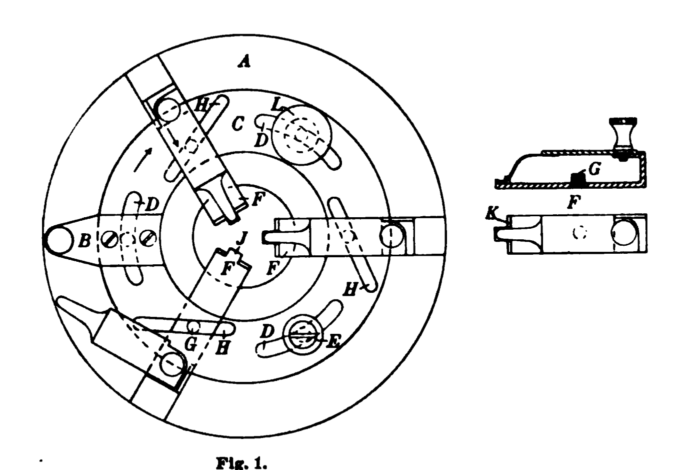


Fig. 1.

Es ist begreiflich, dass die beschriebene, sehr bequeme Prüfungsmethode der Anwendung des Nörrenberg'schen Polarisationsapparats sowie des Schlierenapparats bei weitem überlegen ist. Der erstere ist ja seiner ganzen Konstruktion nach nicht für feinere Beobachtungen geeignet, und der letztere kann manche Verunreinigungen, wie Verwachsungen von entgegengesetzt drehenden Quarzen, garnicht anzeigen, da die Brechungsquotienten für positiven und negativen Quarz gleich sind. Aber auch die Benutzung von sehr starkem homogenen Licht, z. B. von gereinigtem, im Sauerstoffgebläse erzeugtem Natriumlicht, ohne Kompensation hat sich als weniger empfindlich erwiesen. Dies mag daher rühren, dass Unreinheiten, die sich in homogenem Licht nur als schwache Helligkeitsunterschiede zeigen, bei der oben beschriebenen Methode als ziemlich starke Farbenunterschiede auftreten.

Nach den Erfahrungen der Reichsanstalt finden sich äusserst selten grössere Quarzplatten von mehr als etwa 20 *mm* Durchmesser und 5 *mm* Dicke, welche sich, nach der beschriebenen Methode untersucht, als vollkommen homogen erweisen. Schon die Beschaffung von reinem Material für die Saccharimeterquarzplatten (bis 1,6 *mm* dick) macht Schwierigkeiten. Bei diesen Platten muss mindestens die Mitte von 9 *mm* Durchmesser genügend optisch rein sein.

2. Untersuchung auf Planparallelismus.

a) Beschreibung des Interferenzapparats.

Die Prüfung der Quarzplatten auf Parallelismus geschieht durch Beobachtung der Fizeau'schen Streifen, bezw. der Haidinger'schen Ringe nach der Lummer'schen[1]) Methode, die Untersuchung auf Planheit durch Beobachtung Fizeau'scher Streifen in einer etwa 0,4 *mm* dicken Luftschicht, die einerseits von der Quarzplatte, andererseits von einem planen Vergleichsglase begrenzt wird, also nach der Methode, die schon häufig z. B. von Fizeau, Thiesen, Laurent[2]) benutzt worden ist. Um beide Untersuchungen mit dem Abbe'schen Interferenzapparat in bequemer Weise ausführen zu können, ist dieser einem Umbau unterzogen worden.

Bekanntlich befindet sich beim Abbe'schen Interferenzapparat[3]) in der Brennebene eines Objektivs *A* (Fig. 2) ein Diaphragma mit kreisförmiger Oeffnung *BC*, deren eine Hälfte durch das Reflexionsprisma *DEF* bedeckt ist. Mit Hülfe dieses und einer Beleuchtungslinse entwirft man in der bedeckten Hälfte der Diaphragmaöffnung ein Bild der homogenen Lichtquelle. Die zu untersuchende Parallelplatte *G* muss senkrecht zur Achse *EAH* des Objektivs stehen, was der Fall ist, wenn sich in der unbedeckten Hälfte von *BC* das Bild der anderen beleuchteten Hälfte befindet. Führt man nun das Auge nahe an die frei gebliebene Halböffnung heran, so erblickt man, wenn die Entfernung zwischen Platte und Objektiv geeignet gewählt ist, durch das letztere als Lupe die Fizeau'schen Interferenzkurven gleicher Dicke. Diese erscheinen, solange die Helligkeit der Lichtquelle ausreichend ist, um so schmaler und schärfer, je kleiner die Diaphragmenöffnung *BC* gewählt wird.

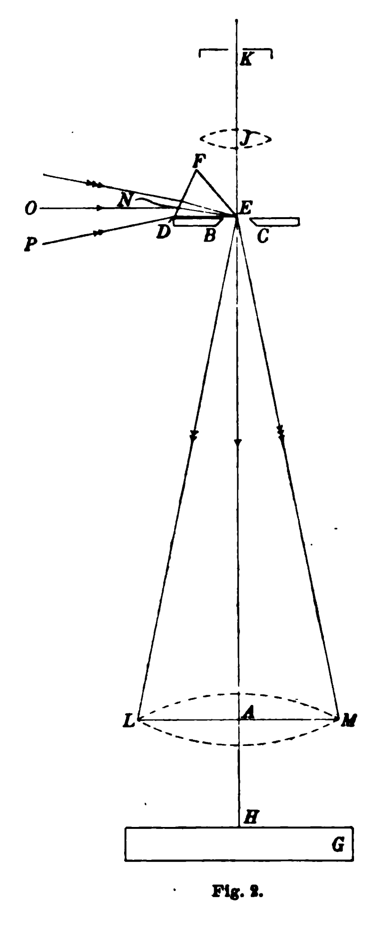


Fig. 2.

Stellt man dagegen mit der Lupe *J* auf die freie Halböffnung *CE* ein, so erblickt man bei genügend grosser Diaphragmenöffnung die Haidinger'schen Interferenzkurven gleicher Neigung in Gestalt von Halbringen. Diese Interferenzringe treten auch noch bei ziemlich unvollkommenen Parallelplatten auf, wenn man den in Wirksamkeit tretenden Theil der Platte genügend eng begrenzt. Das geschieht einfach, indem man in der Brennebene der Lupe *J*, wo ein Bild der Platte entsteht, den Okulardeckel *K* anbringt und seine Oeffnung recht klein wählt.

Um die Fizeau'sche Interferenzerscheinung recht gut beobachten zu können, ist es nöthig, das Objektiv *A* möglichst gleichförmig zu beleuchten; man kann dann nämlich von der Platte *G* mit einem Mal ein Stück von der Grösse des Objektivs *A* überblicken und auch bei dicken Platten die verschwommen aussehenden Interferenzstreifen auf dem gleichmässig hellen Grunde noch deutlich erkennen. Mit den ge-

---

[1]) Otto Lummer, *Wied. Ann.* **23.** *S. 49. 1884.*

[2]) Vgl. z. B. *diese Zeitschr.* **3.** *S. 56 u. 292. 1883.*

[3]) Siehe z. B. S. Czapski, *diese Zeitschr.* **5.** *S. 149. 1885*; Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1897. Bd. II. Abt. I. *S. 910 bis 924.*

wöhnlich angewendeten rechtwinklig-gleichschenkligen Reflexionsprismen lässt sich aber eine gleichmässige Beleuchtung des Objektivs nicht erzielen, weil die Strahlenbündel, welche, rückwärts von der Platte G zur Lichtquelle verfolgt, nach Punkten des Prismas in der Nähe der Kante E zielen (z. B. LEM), theilweise von der Prismenfläche DE abgeblendet werden. Daher wurde das rechtwinklig-gleichschenklige Reflexionsprisma durch ein spitzwinkliges mit versilberter Prismenfläche EF ersetzt, bei dessen Anwendung LM auch mit den in der Nähe der Kante E sich kreuzenden Strahlen gleichmässig erleuchtet wird, und welches ausserdem die Bedingung erfüllt, dass ein senkrecht zu AE auffallender Strahl das Prisma in der Richtung AE verlässt. Letzteres ist nöthig, damit Beleuchtungslinse und Lichtquelle in gleicher Höhe mit dem Prisma aufgestellt werden können[1]).

Die Fizeau'sche Interferenzerscheinung wird um so deutlicher, je mehr senkrecht alle Lichtstrahlen in die Platte G eintreten. Die Kante E des Prismas muss daher sehr gut gearbeitet sein, damit die Diaphragmaöffnung recht klein gewählt werden kann. Wollte man etwa, um die Benutzung des Prismentheiles nahe der Kante E zu vermeiden, ein Diaphragma verwenden, welches links und rechts von E nur je ein kleines Loch zum Ein- und Austritt der Lichtstrahlen enthält, so würde man dadurch gegenüber *einer* Diaphragmaöffnung, deren Durchmesser dem Abstand der kleinen Oeffnungen gleich ist, nichts gewinnen. Ein Versuch zeigt dies sehr deutlich.

Die Konstruktion des Apparats ist aus Fig. 3a bis d ($^1/_3$ nat. Grösse) ersichtlich. Die optischen Theile nebst Fassung (mit Ausschluss des Reflexionsprismas) sind von einem früher von der Firma Carl Zeiss in Jena bezogenen Abbe'schen Apparat entnommen. Das Objektiv A hat 100 *mm* Brennweite und 40 *mm* freie Oeffnung; man kann daher von den zu untersuchenden Platten mit einem Male eine Kreisfläche von 40 *mm* Durchmesser überblicken. Bei einem vollständigen Neubau des Apparats wird es sich empfehlen, ein grösseres Objektiv zu wählen, um grössere Stücke übersehen zu können. Das Okular N besitzt eine Brennweite von 35 *mm*.

Das Gestell ist sehr massiv gebaut, was nothwendig ist, um bei der Untersuchung auf Planheit die Interferenzstreifen ruhig zu erhalten. Der Apparat bedarf so keiner besonders erschütterungsfreien Aufstellung.

Zur Aufnahme der zu prüfenden Platte dient die Scheibe B, welche durch die Stellschrauben C und D, die Schnittschraube E und die mit Feder versehene Schraube F

---

[1]) Die Prismenwinkel bestimmen sich folgendermaassen: Es sei $n = 1{,}56$ der Brechungsexponent des Glases, $AEL = \delta$ der halbe Oeffnungswinkel des Objektivs LM und η der zu δ als Einfallswinkel gehörige Brechungswinkel, sodass $\sin\eta = \frac{\sin\delta}{n}$ ist, dann muss sein:

1. damit der Strahl DE das Prisma in Richtung EL verlässt,

$$\measuredangle FED = 45^0 + \frac{\eta}{2} \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

2. damit der senkrecht zu EA auf das Prisma fallende Strahl ON das Prisma in der Richtung EA verlässt,

$$\operatorname{tg} FDE = \frac{n\cos\eta - 1}{n\sin\eta} \quad \ldots\ldots \quad 1a)$$

In unserem speziellen Falle ist den Abmessungen des Objektivs entsprechend $\measuredangle FED = 48{,}6^0$ und $\measuredangle FDE = 70{,}3^0$. Die Grundfläche ist 30 *mm* lang und 12 *mm* breit gewählt.

Natürlich dürfen auch die Metalltheile des Apparats den Strahl PD nicht abblenden. Der Winkel ϑ, welchen PD mit dem horizontalen Strahl ON bildet, berechnet sich aus der Gleichung

$$\vartheta = \mu + FDE - 90^0, \text{ wo } \sin\mu = n\cos FDE \text{ ist} \quad \ldots\ldots \quad 1b)$$

In unserem Falle ist $\vartheta = 12{,}0^0$.

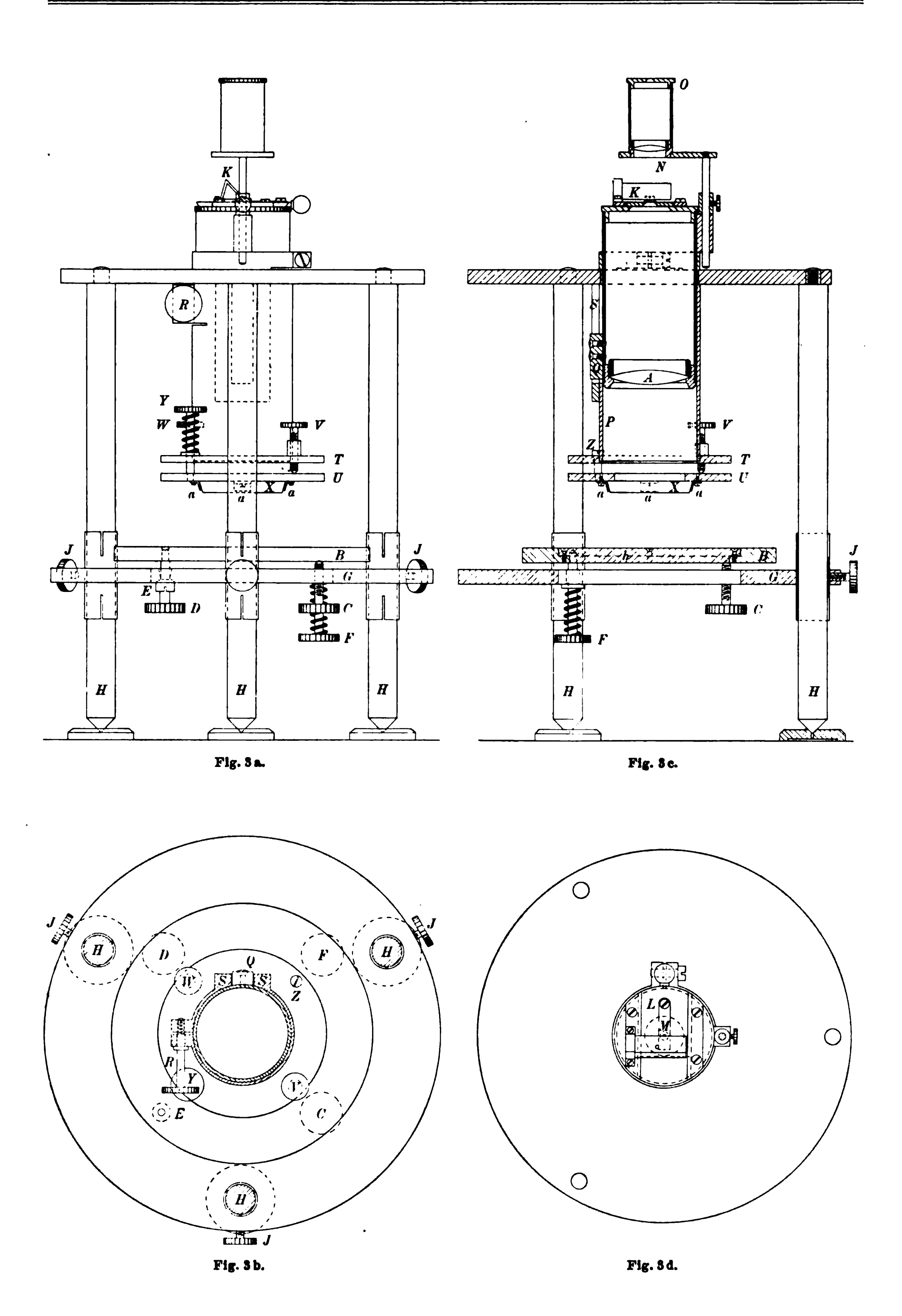


Fig. 3a.

Fig. 3c.

Fig. 3b.

Fig. 3d.

mit der ringförmigen Scheibe *G* verbunden ist. Mittels der Stellschrauben *C* und *D* lässt sich die Scheibe *B* um zwei zu einander senkrechte Achsen drehen und so die zu untersuchende Platte senkrecht zur Achse des Objektivs *A* stellen[1]). Vor dieser Einstellung bringt man die Scheibe *G* in geeignete Entfernung vom Objektiv *A* und klemmt sie mittels der drei Kordelschrauben *J* an den zylindrischen Säulen *H* fest.

Das dicht unter dem Reflexionsprisma *K* befindliche, in Schlittenführung bewegliche Diaphragma *L* (Fig. 3d) enthält eine kreisförmige Oeffnung von 3 *mm* Durchmesser. Diese lässt sich durch Vorschieben der Feder *M* (Fig. 3d) bis auf 1,5 *mm* Durchmesser verkleinern. Behufs Beobachtung der Haidinger'schen Ringe entfernt man den Schieber *L* ganz. Als Okulardeckel der Lupe *N* verwendet man entweder eine gut schliessende Irisblende oder Diaphragmen *O* von 2 und 1 und 0,4 *mm* Durchmesser. Bei Benutzung des letzten Diaphragmas treten die Haidinger'schen Ringe auch noch bei ziemlich unvollkommenen Platten (bis zu etwa 20 Sekunden Keilwinkel) auf.

Das bei der Untersuchung auf Planheit dienende plane Vergleichsglas wird von folgender Vorrichtung gehalten. Ueber das Objektivrohr ist ein zweites Rohr *P* geschoben, welches an dem Messingstück *Q* Führung hat und in passender Höhe mittels der Kordelschraube *R* festgeklemmt werden kann. Da zwischen *Q* und den Führungsleisten *S* (Fig. 3b) etwas Luft gelassen ist, kann das Rohr *P* durch Hin- und Herdrehen sehr allmählich nach unten oder oben bewegt werden. Es ist an seinem unteren Ende mit einem Flansch *T* versehen, der mit Hülfe von vier Schrauben die ringförmige Metallplatte *U* trägt, welche mit *T* genau in der gleichen Weise wie *B* mit *G* verbunden ist. Durch die beiden Stellschrauben *V* und *W*, welche eine möglichst geringe Steighöhe haben, lässt sich die das stark keilförmige Vergleichsglas *X* tragende Platte *U* so justiren, dass die aus dem Objektiv *A* parallel seiner Achse austretenden Strahlen senkrecht auf die untere Fläche des Vergleichsglases *X* auftreffen und so in sich zurück reflektirt werden. Während der Untersuchung auf Parallelismus entfernt man die Platte *U* mit dem Vergleichsglase *X* aus dem Strahlengang, indem man sie nach Entfernen der Schraube *Y* um die Schnittschraube *Z* zur Seite klappt.

Das Planglas *X* ist keilförmig, damit das von der oberen Glasfläche reflektirte Licht durch das unter dem Reflexionsprisma befindliche Diaphragma *L* abgeblendet wird. Dieses Licht würde sich sonst störend über die Interferenzerscheinung lagern. Der Keilwinkel beträgt etwa 45 Minuten. Dann haben die beiden Bilder eines leuchtenden Punktes in der Diaphragmenebene den ausreichenden Abstand von etwa 4,1 *mm*. Während die untere Fläche des Vergleichsglases sehr vollkommen plan sein muss, sind in dieser Hinsicht an die obere Fläche keine besonderen Anforderungen zu stellen. Mit grosser Vorsicht ist die Befestigung des Planglases an der Metallplatte *U* auszuführen. Ankitten des Glases mit heissem Wachs oder Anpressen mit gepolsterten Federn bewährte sich nicht. Es wurde vorgezogen, es mit weichem kalten Wachs zu befestigen. Das Abfallen wird durch kleine stumpfwinklige Metallstücke *a* verhindert, welche mit ihrem einen Schenkel an der Metallplatte *U* festgeschraubt sind, während der andere Schenkel an dem konischen Rande der Glasplatte nahezu anliegt.

Das benutzte Planglas ist nahezu vollkommen plan. Es wurde verglichen erstens mit einem anderen Planparallelglas, zweitens mit zwei planen Metallspiegeln und drittens mit Flüssigkeitsoberflächen von in einem weiten Gefäss befindlichem

[1]) Diese Justirvorrichtung ist nahezu wie bei der entsprechenden Platte des Abbe'schen Apparates eingerichtet. Die das Planglas tragende Scheibe besitzt die gleiche Vorrichtung.

Glyzerin oder Rizinusöl. In allen Fällen zeigten die Fizeau'schen Interferenzstreifen, selbst wenn sie einen Abstand von etwa 30 *mm* hatten, nur eine sehr geringe, gerade noch wahrnehmbare Krümmung.

b) Beleuchtung des Interferenzapparates.

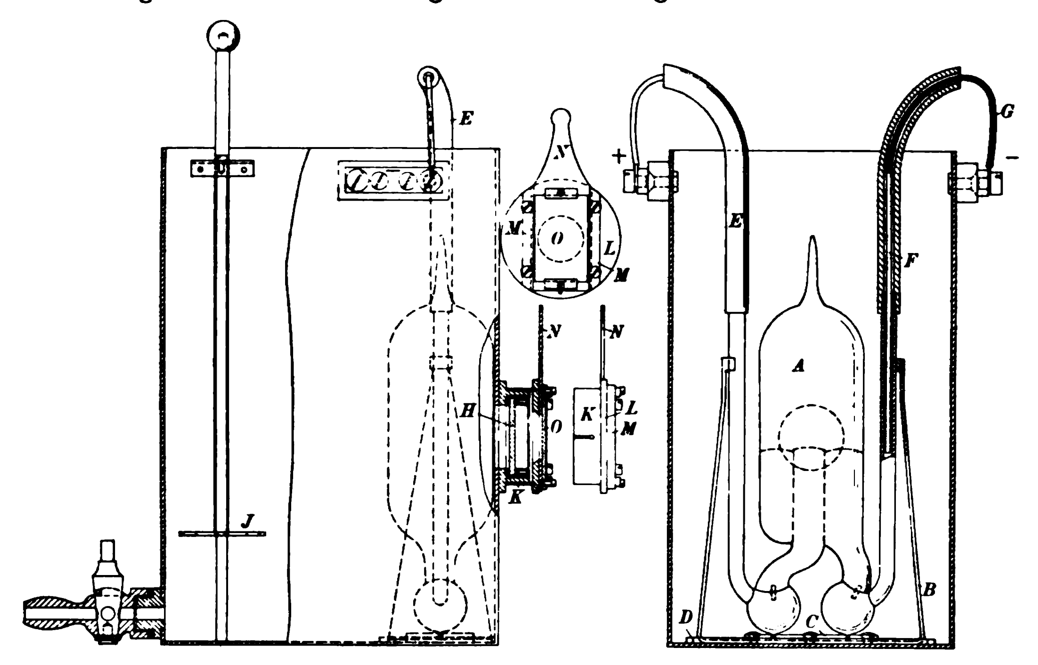
Um die Beleuchtungslinse richtig zum Strahlengang aufzustellen, kann man folgendermaassen verfahren. Man stellt das Planglas in einer solchen Höhe fest, dass das durch das Objektiv des Apparates von den am Planglas reflektirten Strahlen entworfene Bild der Beleuchtungslinse dicht unterhalb des Objektivs liegt, dass man also beim Hindurchsehen durch die unbedeckte Halböffnung Objektiv und Beleuchtungslinse gleichzeitig scharf erblickt. Die Beleuchtungslinse ist dann so gross zu wählen und so zu justiren, dass ihr Bild das Objektiv reichlich ausfüllt. Die benutzte Beleuchtungslinse besteht aus zwei in einem Stativ in geringem Abstand von einander befindlichen Konvexlinsen von je 220 *mm* Brennweite und 100 *mm* Durchmesser, die in 220 *mm* Abstand von der Diaphragmen-Oeffnung aufgestellt werden. Die Entfernung zwischen dem Linsenpaar und der Lichtquelle beträgt dann auch wieder nahezu 220 *mm*. Da somit die Lichtquelle um etwa 40 *cm* vom Apparat absteht, wirkt die von ihr ausgestrahlte Wärme nicht mehr störend auf die Messungen ein.

Was die Art der homogenen Lichtquelle betrifft, so ist bekanntlich das Natriumlicht hier sehr wenig geeignet. Schon bei 2 *mm* dicken Platten treten die Fizeau'schen Streifen nur noch schwach auf und auch nur dann, wenn man das Natriumlicht recht dunkel brennen lässt. Die Streifen werden auch nicht besser, wenn das Natriumlicht durch Kaliumdichromatlösung oder durch das grünlichgelbe Jenaer Chromglas 433^{III} von 2,5 *mm* Dicke oder spektral gereinigt wird. Dagegen erwies sich die Arons'sche Quecksilberlampe, wenn ihr Licht durch das Jenaer Blauviolettglas 447^{III} von 1,5 *mm* Dicke hindurchgegangen ist, als sehr brauchbar. Z. B. zeigt mit diesem Licht eine 10 *mm* dicke Quarzplatte die Fizeau'schen Streifen noch deutlich, selbst wenn diese 12 *mm* von einander abstehen. Dem entspricht ein Keilwinkel von nur 2,4 Sekunden.

Es ist aber im Interesse einer schnellen Untersuchung sehr wichtig, die Anwendung der Fizeau'schen Streifen möglichst weit zu treiben, sodass man nur in Ausnahmefällen mit den Haidinger'schen Ringen zu arbeiten braucht. Denn während die ersteren als Linien gleicher Plattendicke, analog den Höhenkurven einer Landkarte, direkt die Dickenunterschiede graphisch zeigen und alle Einzelheiten mit einem Blick erkennen lassen, ist man bei der Untersuchung mit den Haidinger'schen Ringen auf den Helligkeitswechsel im Zentrum des Ringsystems bei Bewegung der Platte angewiesen und daher gezwungen, die Platte nach einander Stelle für Stelle zu prüfen und darauf erst alles zu einem Gesammtbilde zu vereinigen. Das ist aber nicht allein mühevoll, sondern erfordert auch bei einer langwierigen Prüfung ziemlich konstante Temperatur. Denn bei einer 10 *mm* dicken Quarz- oder Glasplatte reicht bereits eine Temperaturänderung von 0,9° C. hin, damit das Zentrum des Ringsystems aus Dunkel ins Maximum der Helligkeit übergeht.

Haidinger'sche Ringe lassen sich mit dem blauen Quecksilberlicht an Platten bis zu 20 *mm* Dicke erzeugen. In noch dickeren Platten bis zu 40 *mm* Dicke kann man sie mit dem gelbgrünen Licht von der Wellenlänge 0,000546 *mm* erzielen, und zwar ohne spektrale Zerlegung, einfach indem man das blaue Farbglas entfernt. Die Wirkung der übrigen Hg-Linien tritt dann gegen die der weitaus hellsten gelbgrünen ganz zurück.

Auch die Fizeau'schen Streifen erscheinen mit dem weissen Hg-Licht ohne Farbglas ziemlich gut und stimmen mit denjenigen überein, die das spektral gereinigte gelbgrüne Hg-Licht giebt. Indessen ist hier das blaue Hg-Licht vorzuziehen, da bei diesem die Streifen erheblich schärfer und vor allem im Verhältniss von etwa 5 zu 4 an Anzahl grösser sind als beim Hg-Licht ohne Farbglas.



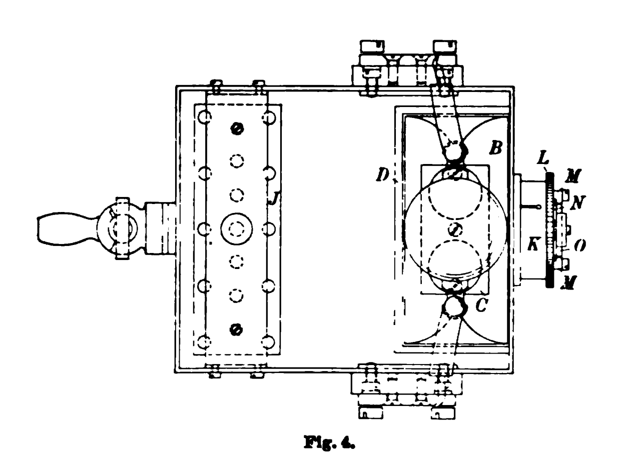


Fig. 4.

Die Quecksilberlampe wird in der von Fabry und Pérot[1]) angegebenen Form benutzt, weil diese Strahlenbüschel von grosser Oeffnungsweite aussendet und im Gebrauche sehr handlich ist. Sie wurde in der Reichsanstalt in einem Wasserbade montirt, dessen Konstruktion aus Fig. 4 ($^1/_3$ nat. Grösse) leicht erkennbar ist. Die Lampe *A* wird von einem mit breiter Grundfläche versehenen Metallbügel *B* gehalten und steht mit den beiden Spitzen, in welche die unteren kugelförmigen Quecksilbergefässe auslaufen, in den Löchern eines Stücks Fiber oder Hartgummi *C*, welches auf *B* aufgeschraubt ist. Der Bügel mit der Lampe steht lose innerhalb eines auf dem Boden des Zinkkastens aufgelötheten Metallrahmens *D*, sodass nach dem Neigen der Lampe (zum Zwecke des Anzündens) diese immer wieder in die alte Lage zurückfällt. Auf die Enden der mit Quecksilber gefüllten Stromzuleitungsröhren sind die Gummischläuche *E* gezogen, durch welche die Zuleitungsdrähte hindurchgesteckt werden. Letztere bestehen aus einem unteren dicken Kupfer-

[1]) Charles Fabry und A. Pérot, *Journ. de phys.* **9.** *S. 369. 1900.* — Bezugsquelle: Richard Müller-Uri in Braunschweig, Schleinitzstr. 19.

draht F und einer oberen biegsamen Leitungsschnur G. Um den Lichtbogen herzustellen, bedarf es dann nur einer geringen Neigung der Lampe durch Zurückbiegen eines der Schläuche E.

Zum Interferenzapparat gelangt das Licht durch das in passender Höhe angebrachte Glasfenster H, während durch Bedecken des Kastens mit einem schwarzen Tuch alles übrige Licht abgeblendet werden kann. Auf die Fassung von H ist ein Rohr K geschoben, welches vorn eine Schlittenführung M trägt. In dieser ist der Schieber N mit dem Farbglas O beweglich. Der Kasten wird so weit mit destillirtem Wasser gefüllt, dass die Lampe völlig bedeckt ist. Zum Durchmischen des Wassers dient der Rührer J. Brennt man die Lampe mit etwa $5^1/_2$ Ampere, so wird bei dreistündigem Brennen das Wasser noch nicht bis zum Siedepunkt erhitzt. Der Lichtbogen ist am hellsten, wenn die innere Quecksilberkuppe mit dem positiven Pol verbunden wird.

c) Ausführung der Messungen.

Das durch das Blauviolettglas gegangene Hg-Licht giebt dieselben Interferenzstreifen, welche man mit spektral gereinigtem blauen Hg-Licht von der Wellenlänge in Luft $\lambda = 0{,}000436$ *mm* erhält, sowohl was die Anzahl als auch was die Schärfe der Streifen betrifft. Für Quarz und nahezu auch für Glas ist daher der Brechungsexponent $n = 1{,}55$ zu setzen. Im Folgenden sollen die Regeln und Formeln für die Untersuchung mit Licht von solcher Wellenlänge zusammengestellt werden.

Zunächst sei eine beliebige durchsichtige Platte vom Brechungsexponenten n auf Parallelismus mit den Fizeau'schen Streifen zu prüfen. Sind die Flächen plan, so verlaufen die Streifen geradlinig und in gleichen Abständen einander parallel. Der Dickenunterschied an den Stellen der Platte, welche durch zwei benachbarte dunkle Streifen bezeichnet sind, ist $\frac{\lambda}{2n}$, also für Quarz und Glas gleich 0,000141 *mm*. Ist a der Abstand zweier benachbarten dunklen Streifen in Millimeter, so berechnet sich der Keilwinkel α in Sekunden aus der Gleichung

$$\alpha = \frac{\lambda}{2na} \frac{648\,000}{\pi} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

Ist b der Durchmesser der Platte in Millimeter und zeigt diese m dunkle Streifen, so ist

$$a = \frac{b}{m} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Für Quarz und Glas erhält man dann zur Berechnung des Keilwinkels die einfachen Beziehungen

$$\alpha = \frac{29{,}0}{a} = \frac{29\,m}{b} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

Sind die Flächen der Platte dagegen nicht plan, so werden die Streifen gekrümmt sein oder ungleiche Abstände haben, oder es wird Beides eintreten. Bei kleinem Keilwinkel können auch Interferenzkreise auftreten, sobald eine oder jede der beiden Flächen konkav oder konvex ist. Natürlich ist längs jeder geschlossenen Interferenzkurve die Plattendicke konstant.

Um den Sinn der Dickenänderungen, ob Zu- oder Abnahme der Dicke vorliegt, zu konstatiren, bedient man sich der Haidinger'schen Ringe bei kleiner Oeffnung im Okulardeckel. Dabei fasst man nur die nächste Umgebung des Zentrums des Ringsystems ins Auge. Ihr Aussehen wird nach dem Früheren nur von einem kleinen um die Fernrohrachse herum liegenden Stück der Platte bedingt. Dieses heisse die „wirksame Stelle" der Platte. Bei Verschiebung der Platte in der Rich-

tung des Keiles (d. h. senkrecht zu den Fizeau'schen Streifen) kommt man nun zu dünneren wirksamen Stellen, wenn sich die Ringe nach dem Zentrum zusammenziehen, d. i. kleiner werden, dagegen zu dickeren wirksamen Stellen, wenn die Ringe aus dem Zentrum hervorquellen, d. i. grösser werden.

Liegt ferner die wirksame Stelle auf einem Fizeau'schen Streifen, so erscheint das Zentrum der Haidinger'schen Ringe dunkel, liegt sie auf einem hellen Zwischenraum, so erscheint das Zentrum des Ringsystems hell. Und zwar ist die Anzahl der Uebergänge des Zentrums von dunkel über hell in dunkel ebenso gross, wie für die gleiche Bewegung der Platte die Anzahl der vorüberwandernden Fizeau'schen Streifen bei Anwendung dieser Untersuchungsmethode ist. Einem Wechsel des Zentrums der Haidinger'schen Ringe von grösster Helligkeit in grösste Dunkelheit entspricht wieder eine Aenderung der Plattendicke um $\frac{\lambda}{4n}$, also um 0,000070 *mm* in Glas oder Quarz. Verschiebt man die Platte so, dass die wirksame Stelle längs eines Fizeau'schen Streifens (einer Niveaukurve) wandert, so bleibt das Ringsystem ungeändert. Nach diesen Regeln muss man bei Platten, die entweder wegen zu grosser Dicke oder aber wegen zu vollkommenen Parallelismus keine Fizeau'schen Streifen mehr zeigen, allein mittels der Haidinger'schen Ringe die Niveaulinien konstruiren.

Es sollen nunmehr die Flächen einer Parallelplatte auf Planheit untersucht werden. Damit die durch die beiden Flächen der Platte erzeugten Fizeau'schen Streifen sich nicht störend über die der Luftschicht lagern, entfernt man die ersteren, indem man die eine Fläche mit Zedernholzöl überzieht. Mit dieser Fläche wird die Platte auf drei passend angebrachte kugelförmige Erhöhungen einer Metallplatte und diese auf das Tischchen *B* (Fig. 3) des Interferenzapparats gelegt. Alsdann justirt man die untere Fläche des Vergleichsglases und die zu prüfende Fläche so, dass die durch Reflexion an ihnen entstehenden Bilder der vom Prisma *K* bedeckten Diaphragma-Halböffnung die freie Hälfte ausfüllen, nähert die Flächen einander durch Verschieben der Metallscheibe *G* bis auf etwa 10 *mm* und darauf durch vorsichtiges Herabdrehen des Rohrs *P* bis auf wenige zehntel Millimeter und bringt noch einmal die beiden Bilder genau zur Deckung. Durch die unbedeckte Halböffnung erblickt man dann eine Reihe von Interferenzstreifen, die durch die zwischen den beiden Flächen befindliche Luftschicht erzeugt werden.

Um ein richtiges Bild von der Planheit der zu prüfenden Fläche zu bekommen, müssen die beiden Flächen, wenigstens an einer Stelle, einander genau parallel gestellt werden, der Streifenabstand muss also möglichst gross gemacht werden. Man erreicht dies ohne Herumprobiren, wenn man die Streifen abwechselnd in eine bestimmte Richtung und senkrecht dazu stellt. Dies geschieht, indem man zunächst abwechselnd an den beiden Stellschrauben *C* und *D* und zwar immer in solchem Sinn dreht, dass der Abstand der Streifen grösser wird. Haben die Streifen eine ziemliche Breite erreicht, so setzt man dasselbe Verfahren mit den beiden oberen Stellschrauben *V* und *W* von sehr geringer Steighöhe fort. Bei einer unebenen Fläche werden dann mit abnehmender Streifenzahl die Streifen sich mehr und mehr krümmen.

Ist die zu prüfende Fläche sehr vollkommen plan, so verschwinden schliesslich alle Streifen und man erhält ein gleichmässig mehr oder weniger helles Gesichtsfeld. In diesem Falle entfernt man auch das blaue Farbglas, um zu sehen, ob das Gesichtsfeld etwa verschiedene Färbung zeigt, weil diese leichter zu erkennen ist als geringe Helligkeitsunterschiede. Meist sind aber die Flächen so wenig eben, dass ein geschlossener Interferenzstreifen auftritt, den man, wenn möglich, in die Mitte

des Gesichtsfeldes bringt. Im mittleren Theil des geschlossenen Streifens sind dann die beiden Flächen genau einander parallel gestellt, und mit Bezug auf die Ebene, welche durch dieses Stück der zu untersuchenden Fläche gelegt werden kann, sind nun alle Vertiefungen und Erhöhungen der Fläche in Gestalt der vorhandenen Fizeau'schen Streifen graphisch dargestellt. Da diese jetzt durch eine Luftschicht erzeugt werden, so beträgt der Dickenunterschied zwischen zwei benachbarten dunklen Streifen $\lambda/2$, also für das blaue Hg-Licht 0,000218 *mm*.

Ist die Fläche kugelförmig konkav oder konvex, so erhält man konzentrische dunkle Kreise, deren Abstände von der Mitte gegen aussen abnehmen. Ob die Fläche konkav oder konvex ist, entscheidet man, indem man mit den Fingerspitzen leicht und gleichmässig das Tischchen B nach unten drückt und so die Dicke der Luftschicht ein wenig vergrössert. Werden hierbei die Kreise grösser, so ist die Fläche konkav, werden sie kleiner, konvex. Die Grösse des Krümmungsradius ergiebt sich folgendermaassen. Ist b der Durchmesser eines bestimmten Kreises in Millimeter, und liegt dieser um d Millimeter höher oder tiefer als das Zentrum (von einem Kreis zum nächsten ändert sich die Dicke der Luftschicht ja um $\lambda/2$), so ist der Krümmungsradius r in Millimeter

$$r = \frac{b^2}{8d} + \frac{d}{2}$$

oder, da $d/2$ im Verhältniss zu r verschwindend klein ist, einfach

$$r = \frac{b^2}{8d} \qquad \text{5)}$$

Zeigt z. B. eine Fläche von 40 *mm* Durchmesser in der Mitte einen dunklen Fleck und ausserdem nur noch einen dunklen Kreis nahe am Rande, so ist $b = 40$ und $d = 0{,}000218$ und somit der Krümmungsradius $r = 0{,}92$ Kilometer.

Ist die Fläche walzenförmig konkav oder konvex, so bekommt man schliesslich einander parallele Streifen, die sich nach der Mitte zu bewegen oder von ihr entfernen, wenn man die Luftdicke ein wenig ändert. Die Fläche ist konkav, wenn sich mit wachsender Luftdicke die beiden mittelsten Streifen von einander entfernen, konvex, wenn sie sich nähern. Bei entsprechend veränderter Deutung der Grössen b und d ist der Krümmungsradius wieder nach Gl. 5) zu berechnen.

Bei einer unregelmässig theils konkaven, theils konvexen Fläche werden sich mit zunehmender Luftdicke gleichzeitig einige Streifen einander nähern, die anderen von einander entfernen.

Nach dieser Methode kann natürlich jede spiegelnde Fläche aus beliebigem Material auf Planheit geprüft werden. Bei der Untersuchung von Flächen, die nicht Platten angehören (z. B. von Prismenflächen), muss ein passender Unterbau hergestellt werden, der dann auf das Tischchen B gebracht wird.

Die Methode der Prüfung auf Planheit durch Fizeau'sche Streifen hat vor der wohl meist gebrauchten der streifenden Spiegelung an der Fläche den Vorzug, empfindlicher zu sein und vor allem auch jede örtlich eng begrenzte Unebenheit anzugeben. Die Methode, die zu prüfende Fläche mit dem planen Vergleichsglase direkt in Berührung zu bringen, hat den Nachtheil, dass bei der Erzielung der sehr dünnen parallelen Luftschicht die beiden Flächen leicht Schrammen erhalten; bei dünneren Platten führt diese Methode ausserdem zu unrichtigen Resultaten, weil sich bei der innigen Berührung die Flächen leicht verziehen.

Bei der Prüfung von Saccharimeter-Quarzplatten werden an den Interferenzapparat keine hohen Anforderungen gestellt. Die Platten haben eine Dicke von

0,3 bis 1,6 *mm* und einen Durchmesser von 15 bis 17 *mm*. Bei einer solchen Quarzplatte kann man fordern, dass der Keilwinkel unter 40 Sekunden bleibt und dass die Flächen nur Wölbungen aufweisen, deren Krümmungsradien über 60 *m* betragen. Bei einem Keilwinkel von 40 Sekunden bringt eine Verschiebung der Platte in Richtung des Keils um 1 *mm* erst eine Drehungsänderung von 15 Sekunden für Natriumlicht oder etwa 0,012° Ventzke hervor. Es ist aber für den Schleifer nicht besonders schwierig, den Keilwinkel unter 15 Sekunden zu halten.

3. Der Achsenfehlerapparat.

a) Strahlengang.

Die Bestimmung des Achsenfehlers, d. i. des Winkels, welchen die optische Achse der Quarzplatte mit der Plattennormale bildet, geschieht unter Benutzung der von Gumlich[1]) angegebenen Methode. Bei dieser werden im Gesichtsfeld eines Fernrohrs durch die schräg gegen die Strahlenrichtung stehende Quarzplatte Interferenzstreifen erzeugt, welche Stücke des bekannten im Nörrenberg'schen Polarisationsapparat entstehenden Ringsystems sind. Die Wanderung dieser Streifen beim Drehen der Platte in ihrer Ebene wird gemessen. Der zu den Prüfungen dienende Achsenfehlerapparat ist, nach genauen Angaben, von der Firma Franz Schmidt & Haensch in Berlin gebaut worden. Seine theoretische Grundlage ist bereits früher veröffentlicht[2]).

Die Skizze Fig. 5 zeigt die Anordnung der optischen Theile des Apparats. Das Spaltrohr mit dem Spalt A und dem achromatischen Objektiv D enthält den Polari-

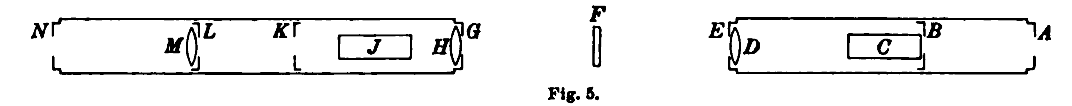


Fig. 5.

sator C, das Fernrohr mit dem achromatischen Objektiv H, der achromatischen Lupe M und dem Okulardeckel N den Analysator J. Zwischen beiden steht die zu prüfende Quarzplatte F. Die Anordnung von Linsen zwischen den Nicols, die z. B. bei Polarimetern durchaus zu vermeiden ist, bringt hier keine Nachtheile mit sich und bietet den Vortheil, die Länge des Apparats wesentlich zu vermindern. Wenn die Linsen D und H keine Spannung haben, bekommt man nach Kreuzung der Nicols ein vollkommen dunkles Gesichtsfeld. Die von einem Punkte des Spalts A ausgehenden Strahlen treten aus dem Objektiv D als paralleles Strahlenbüschel aus und vereinigen sich nach dem Durchgang durch die Quarzplatte F und das Objektiv H in einem Punkte der Ebene des Diaphragmas K. Dann entsteht in K ein scharfes Bild des Spalts A, welches auch bei Drehung der Quarzplatte um eine senkrecht zum Strahlengang liegende Achse ruhig stehen bleibt, und in diesem kommt die zur Messung des Achsenfehlers dienende Interferenzerscheinung zu Stande. Das Spaltbild wird mit dem Okular M betrachtet, in dessen Brennebene sich der Okulardeckel N befindet. Die Quarzplatte F wird in die Brennebene des Objektivs H gestellt, sodass sie für jede Einstellung des Okulars, also für jeden beliebigen Abstand zwischen K und M, im Okulardeckel N abgebildet wird. Man kann daher immer durch Verkleinern der Oeffnung im Okulardeckel N den wirksamen Theil der Quarzplatte F beliebig abgrenzen.

---

[1]) E. Gumlich, *Wissensch. Abhandl. d. Phys.-Techn. Reichsanstalt* **2.** *S. 201. 1895.*

[2]) Otto Schönrock, Theoretische Bestimmung des Achsenfehlers von Krystallplatten. *Diese Zeitschr.* **22.** *S. 1. 1902.*

Die Quarzplatte F stehe senkrecht zur Ebene des Papiers und sei um eine zu dieser senkrechte Achse drehbar. Dann ist die Ebene der Zeichnung die Haupteinfallsebene und der Kollimator so zu justiren, dass für den Haupteinfallswinkel $\varphi = 0$ ein von der Mitte des Spaltes A ausgehendes Strahlenbündel senkrecht auf die Quarzplatte fällt.

Der Abstand zweier Interferenzstreifen im Diaphragma K von einander bei einer bestimmten Quarzdicke ist allein durch die Brennweite des Objektivs H bedingt. Er nimmt mit wachsender Brennweite zu und ebenso die Strecke, um welche beim Drehen einer mit einem Achsenfehler behafteten Quarzplatte in ihrer Ebene ein Streifen hin- und herwandert. Aus diesem Grunde würde sich für das Objektiv H eine möglichst grosse Brennweite empfehlen. Andererseits aber werden die Streifen um so verschwommener, je grösser die Brennweite ist. Auf Grund von Vorversuchen wählte man für das Objektiv H und für das Okular M eine Brennweite von 40 *mm*. Mit einem solchen Fernrohr wurden auch bei sehr dünnen Platten noch brauchbare Streifen erhalten. Das Objektiv D erhielt eine Brennweite von 80 *mm*; sein Abstand von der Quarzplatte beträgt gewöhnlich 40 *mm*.

Die Oeffnung des Okulardeckels N braucht der Grösse der Pupille entsprechend nicht mehr als 4 *mm* Durchmesser zu besitzen. So gross ist mithin auch höchstens der wirksame Theil der Quarzplatte, weil der Okulardeckel in ihr in gleicher Grösse abgebildet wird. Da die Dimensionen des Spaltes A während der Messung nur sehr gering sind (höchstens 1,5 *mm*), also das ins Auge gelangende Strahlenbüschel zwischen D und H überall nahezu denselben Durchmesser hat, so braucht auch die freie Oeffnung der Objektive 4 *mm* nur wenig zu überschreiten. Sie wurde für D zu 4,8 *mm* (Blende E), für H, damit auch bei mangelhafter Zentrirung alle aus D austretenden Strahlen hindurchgehen, zu 7 *mm* gewählt (Blende G). Letztere Grösse erhielt auch die Blende L am Okular M. Die Nicols J und C erhielten 21 *mm* Länge und 7 *mm* Oeffnung. Letztere wurde so gross genommen, weil es wünschenswerth ist, beim Justiren mit einer Spaltbreite von etwa 5 *mm* arbeiten zu können. Das Diaphragma K, in welchem der Spalt in halber Grösse abgebildet wird, erhielt eine Oeffnung von 4 *mm* Durchmesser. Bei B befindet sich eine Blende von 6 *mm* Durchmesser. Es ist ersichtlich, dass bei solchen Dimensionen der Spalt A mit möglichst grosser Lichtstärke abgebildet wird, was für die Deutlichkeit der Interferenzerscheinung von Bedeutung ist.

Eingehende Versuche lehrten, dass ein Streifen am empfindlichsten auf die Mitte des Gesichtsfeldes eingestellt werden kann, wenn man letzterem die Gestalt eines schmalen Rechtecks giebt, dessen längere Seiten dem Streifen parallel sind. Macht man z. B. den Spalt A zunächst 3 *mm* weit, so ist der Streifen ziemlich verschwommen und die Einstellung seiner dunkelsten Stelle auf die Mitte des Spaltes sehr unsicher. Wird darauf der Spalt enger und enger gemacht, so wird der Streifen beständig schärfer. Je nach der Quarzdicke kann man mit der Spaltbreite bis zwischen 0,7 und 0,2 *mm* heruntergehen und nun mit grosser Genauigkeit den Streifen in die Mitte des Spalts einstellen. Um nicht noch kleinere Spaltbreiten gebrauchen zu müssen, war es nothwendig, die Brennweite des Objektivs D mindestens doppelt so gross wie die des Objektivs H zu nehmen. Da die Streifen Stücke von Interferenzringen sind, so wird auch die Höhe des Spalts A auf 1,5 *mm* begrenzt, um schon das Stück des innersten Interferenzrings fast als Gerade zu erhalten.

Ist die Quarzplatte F vollkommen homogen und planparallel, so ist es für die Schärfe der Streifen gleichgültig, ein wie grosses Stück von ihr die Strahlen durch-

setzen. Bei einer unreinen Platte oder einer Platte von ungleicher Dicke dagegen bekommen die ordentlichen und ausserordentlichen Wellennormalen eines Parallelstrahlenbüschels nicht mehr alle die gleiche Phasendifferenz, und die Streifen werden um so schlechter, je grösser das von den Strahlen durchsetzte Stück der Platte ist. Um auch bei solchen Platten noch gute Streifen herzustellen, braucht man nur die Platte genügend weit durch Verkleinern der Oeffnung im Okulardeckel N abzublenden. An die Stelle von N ist deshalb eine gut schliessende Irisblende gesetzt.

Zumal bei dünnen Quarzplatten wird durch das in der Platte mehrmals reflektirte Licht die Ausbildung von scharfen Streifen völlig verhindert. Nicht allein lagert sich dieses Licht störend über die Streifen, sondern es veranlasst im Gesichtsfeld K auch das Auftreten von anderen Interferenzstreifen, die Stücke von Haidinger'schen Ringen sind, erzeugt von der Platte im durchgehenden Licht. Diese störende Erscheinung wird beseitigt, wenn man die Quarzplatte durch Zedernholzöl mit einer 7 *mm* dicken planparallelen Glasplatte verbindet. Da alle drei Körper nahezu den gleichen Brechungsexponenten besitzen, so haben wir dann gleichsam nur noch eine einzige dicke Platte, und das in dieser mehrmals reflektirte Licht kann, sobald man den Haupteinfallswinkel φ des Lichtes genügend gross wählt, durch die Irisblende N abgeblendet werden, wie die folgende Betrachtung zeigt.

Für $\varphi > 0$ erleidet das durch die Platte F gehende Licht eine seitliche Verschiebung. Damit nun dieses Strahlenbüschel ganz durch das Objektiv H hindurchgeht, lässt sich das ganze Fernrohr senkrecht zu seiner Achse in der Haupteinfallsebene verschieben, und zwar nach links und rechts um je 10 *mm*. Diese Strecke ist für alle Fälle ausreichend, denn die der Plattendicke direkt proportionale Verschiebung eines Strahls beträgt selbst bei $\varphi = 56^0$ für 1 *mm* Plattendicke 0,47 *mm*. Man kann daher das Fernrohr stets so justiren, dass das Strahlenbüschel genau zentrisch durch die Irisblende N hindurchgeht.

In derselben Richtung wie das direkt durch die Platte F hindurchgehende Strahlenbüschel werden nun auch alle nach mehrmaliger innerer Reflexion aus F austretenden Strahlen seitlich verschoben. Alle diese werden natürlich im Gesichtsfeld K wieder in dem Spaltbild vereinigt und zerstören so die von den direkt hindurchgegangenen Strahlen herrührende Interferenzerscheinung, wenn sie ins Auge gelangen. In der Ebene der Irisblende N dagegen liegen die Strahlenbüschel wieder genau in den gleichen Abständen neben einander wie bei F. Man kann daher die mehrmals reflektirten Strahlen mit Hülfe der Irisblende abblenden. Es fragt sich jedoch, ob hierzu die letztere so klein gestellt werden muss, dass die Lichtstärke der Interferenzerscheinung dadurch zu sehr beeinträchtigt wird.

Da Quarzplatten unter 0,3 *mm* Dicke nicht hergestellt werden, so beträgt die Dicke der Platte F mindestens 7,3 *mm*. Bei dieser Dicke liegen für $\varphi = 40^0$ ein direkt hindurchgegangener und der dazu gehörige nach zweimaliger innerer Reflexion austretende Strahl um 5,1 *mm* von einander entfernt. Die noch häufiger reflektirten Strahlen sind natürlich in derselben Richtung noch weiter verschoben.

Da die Spaltbreite, wie erwähnt, während der Messung nie grösser als 0,7 *mm* gemacht wird, so beträgt die Breite des auf F fallenden Strahlenkomplexes bei F in der Haupteinfallsebene 5,1 *mm*. Nimmt man daher mindestens $\varphi = 40^0$, einen Winkel, dessen Gebrauch auch noch aus einem anderen, später zu erörternden Grunde praktisch ist, so liegen in der Irisblende N der direkt hindurchgegangene und der nach innerer Reflexion austretende Strahlenkomplex bereits getrennt neben einander. Stellt man also durch seitliche Verschiebung des Fernrohrs die Irisblende zentrisch zu dem

direkt hindurchgegangenen Strahlenkomplex und giebt ihr einen Durchmesser von etwa 4 *mm*, so gelangt nur das direkt durch die Quarzplatte hindurchgehende Licht und dies mit voller Lichtstärke ins Auge.

Man kann natürlich auch bei kleineren φ scharfe Streifen bekommen, wenn man die Irisblende genügend eng stellt. Selbst bei noch so dicken Quarzplatten kommt wegen der Zirkularpolarisation der innerste Interferenzring erst zwischen $\varphi = 6^0$ und 9^0 zu Stande. Für $\varphi = 9^0$ beträgt aber bei 7,3 *mm* Plattendicke die Verschiebung des zu beseitigenden Strahlenkomplexes gegen den brauchbaren schon 1,5 *mm*. Bei solchem Durchmesser der Irisblende kann man also auch hier bewirken, dass nur brauchbare Strahlen ins Auge gelangen. In Wirklichkeit kann aber die Oeffnung der Irisblende immer grösser genommen werden, weil nur für *dicke* Platten bei so kleinem φ Streifen entstehen. Dann ist aber die Verschiebung der beiden Strahlenkomplexe gegen einander auch grösser als 1,5 *mm*. Wenn man die Irisblende kleiner als die Pupille macht, wird natürlich die Beleuchtungsstärke im Gesichtsfeld K verringert. Man wählt daher, wenigstens bei sehr gut parallelen Quarzplatten, φ mindestens so gross, dass die Verschiebung der beiden Strahlenkomplexe gegen einander etwa 3 *mm* beträgt.

b) Beschreibung des Apparats.

Eine perspektivische Ansicht des Achsenfehlerapparats giebt Fig. 6 (etwa $^2/_5$ nat. Grösse); die Einzelheiten der Spaltvorrichtung sind aus Fig. 7 ($^2/_3$ nat. Grösse) zu erkennen. Die Drehung des Theilkreises A und des Tischchens B, die beide auf der Drehungsachse befestigt sind, wird durch das Steuerrad C bewirkt. Der Theilkreis ist in halbe Grade getheilt und gestattet mittels zweier Nonien die ganzen Minuten abzulesen. Nach Anziehen der Schraube E lässt sich der Theilkreis durch eine mit Trommel versehene Schraube F mikrometrisch drehen, ähnlich wie beim Abbe'schen Spektrometer. Die Trommel von etwa 35 *mm* Durchmesser ist in 100 Theile getheilt; das die Mikrometerschraube F nebst Gegenfeder haltende Metallstück kann in passender Entfernung von der Drehungsachse des Theilkreises so festgeschraubt werden, dass ein Trommeltheil gerade 6″ entspricht. Man kann so die Trommel, deren ganze Umdrehungen (etwa 35) an einer Theilung abzulesen sind, mit Hülfe eines dicht über die Trommel gespannten Pferdehaares bis auf 0,6″ gut ablesen.

Fernrohr und Kollimator können zum Zwecke der Justirung etwas aufwärts oder abwärts geneigt werden. Das Fernrohr ist auf einem Schlitten montirt, der in Schwalbenschwanzführung mittels der Schraube G senkrecht zur Fernrohrachse verschiebbar ist. Das Spaltrohr trägt den mit Messtrommel H versehenen Bilateralspalt J von 5 *mm* grösster Weite. Sehr dicht hinter den geschwärzten Spaltbacken K (Fig. 7) sind in Schlittenführung L der beiderseits geschwärzte Schieber M und der auf der Innenseite gut polirte Schieber N in derselben Richtung wie die Spaltbacken K beweglich. Ersterer enthält einen Spalt von 5 *mm* Breite und 1,5 *mm* Höhe, letzterer besitzt eine scharfkantige halbkreisförmige Oeffnung von 2 *mm* Durchmesser und endigt in eine horizontale Schneide. Diese und die gemeinsame horizontale Halbirungslinie der halbkreisförmigen Oeffnung und des Spalts M liegen in derselben Geraden. Für besondere Versuche kann man das Spaltrohr durch Schlittenbewegung der Lichtquelle soweit nähern, dass die Quarzplatte in die Brennebene des Kollimatorobjektivs gerückt wird.

Die Drehung der zur Aufnahme der Quarzplatte dienenden planparallelen, spannungsfreien Glasplatte in ihrer Ebene geschieht in sehr vollkommener Weise

durch die folgende Vorrichtung. Das Tischchen *B* trägt, ähnlich wie das vom Abbe'schen Spektrometer, justirbar eine ringförmige Scheibe *P* von 75 *mm* äusserem Durchmesser mit einer kreisförmigen Oeffnung von 25 *mm* Durchmesser. Die Glasplatte von 60 *mm* Durchmesser und 7 *mm* Dicke passt willig in eine Vertiefung dieser Scheibe *P* und schleift beim Drehen auf einer ringförmigen, um 0,4 *mm* hervorragenden ebenen Fläche von 55 *mm* äusserem und 45 *mm* innerem Durchmesser. Gegen diese plane Unterlage wird die Glasplatte durch die drei schwachen Federn *Q*, *Q* und *R* gedrückt. *R* lässt sich um 90° drehen und dann in eine Aussparung der Scheibe *P*

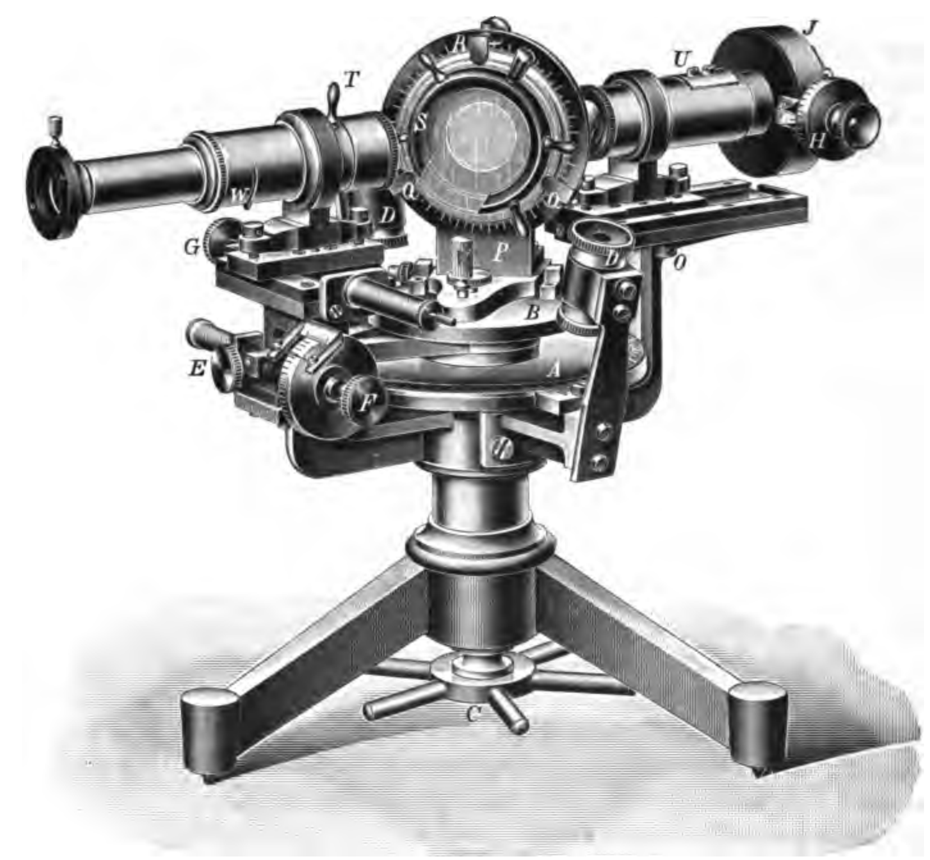


Fig. 6.

zurückziehen, sodass die Glasplatte bequem herausgenommen werden kann. Auf diese ist mit einer Mischung von Fischleim und Gips das Steuerrad *S* von 40 *mm* innerem Durchmesser aufgekittet[1]), welches an einer Stelle eine Lücke von 25 *mm* Weite hat, um die am Glase fest haftenden Quarzplatten ohne Gefahr des Zerbrechens seitlich herausschieben zu können. Mittels der schräg abstehenden Griffe des Steuerrades lässt sich die Glasplatte bequem unter mässiger Reibung bis auf Bruchtheile einer Sekunde genau in ihrer Ebene drehen. Die Untersuchung der Glasplatte nach dem Aufkitten des Steuerrades ergab, dass die Fläche, auf welcher das Steuerrad sitzt, konvex ist mit einem Krümmungsradius von 1,2 *km*, die andere Fläche konkav mit einem Krümmungsradius von 0,46 *km*, und dass die Platte gerade in der Mitte am dünnsten ist. Sie ist daher für den vorliegenden Zweck sehr brauchbar.

[1]) Da dieser Kitt in Wasser löslich, in Alkohol unlöslich ist, so ist die Glasplatte mit Alkohol zu reinigen.

c) Justirung.

Wir wenden uns nun zur Justirung des Apparats. Da die Ringe in 45° Abstand von den Balken des Kreuzes der Interferenzfigur am schärfsten erscheinen, ist der Polarisator, ein Glan[-Thompson]'scher Nicol, so zu stellen, dass seine Seitenkanten mit der Vertikalen Winkel von annähernd 45° bilden. Der Analysator, gleichfalls ein Glan[-Thompson]'scher Nicol, welcher mit seiner Hülse durch den Griff *T* um etwa $1^1/_2$ Quadranten gedreht werden kann, ist so in seine Fassung eingesetzt, dass er sowohl auf Auslöschung als auch auf grösste Helligkeit mit Hülfe von *T* gestellt werden kann. Man stellt dann das Fernrohr, etwa durch Anvisiren eines sehr fernen Gegenstandes, auf unendlich ein und befestigt den Spalt *J* durch Anziehen der beiden Schrauben *U* so, dass er scharf erscheint und der Drehungsachse des Theilkreises *A* parallel steht. Nun wird die Scheibe *P* so festgeschraubt, dass die Drehungsachse des Theilkreises möglichst in der Fläche liegt, auf welcher das Steuerrad sitzt, und durch die Mitte dieser Fläche hindurchgeht.

Um die Glasplatte der Drehungsachse des Theilkreises parallel und die vom Mittelpunkt des Spalts *J* kommenden Strahlen senkrecht zu dieser Drehungsachse zu stellen, verfährt man folgendermaassen[1]). Man beleuchtet den Spalt mit hellem weissen Licht, bringt den Analysator auf grösste Helligkeit, öffnet den Spalt ganz und schiebt den Schieber *N* so weit vor, dass seine halbkreisförmige Oeffnung gerade ganz sichtbar wird. Wird dann die Glasplatte ungefähr senkrecht zum Lichtbüschel gestellt, so erblickt man durch das Fernrohr neben dem direkten noch ein zweites scharfes, hinreichend lichtstarkes Bild der halbkreisförmigen Oeffnung, welches durch zweimalige Reflexion, nämlich an der Glasplatte und an der spiegelnden Fläche von *N* entsteht und beim Drehen der Glasplatte wandert. Sind die beiden Bilder nicht gleichzeitig scharf, so steht das Fernrohr nicht genau auf unendlich; dann muss an den Auszügen des Fernrohres und des Spaltrohres solange justirt werden, bis beide Bilder gleichzeitig deutlich sind. Man hat nun in bekannter Weise Spaltrohr und Glasplatte, diese mittels der Schraube *V*, so zu justiren, dass die beiden Halbkreise in gleicher Höhe liegen, sich also, wenn ihre geraden Grenzen in einer Linie liegen, zu einem vollen Kreise ergänzen, und zwar sowohl wenn die eine als auch wenn die andere Fläche der Glasplatte dem Spalte *J* zugekehrt ist[2]).

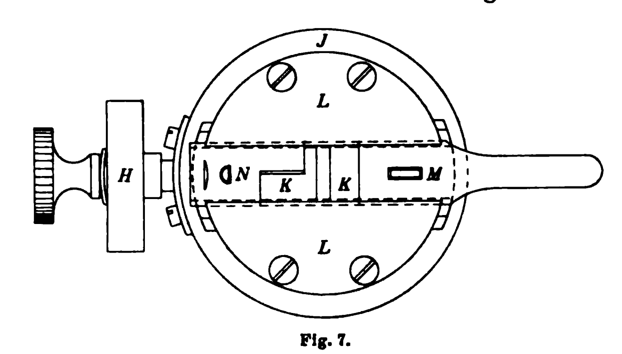


Fig. 7.

Bei kleiner Spaltöffnung wird nunmehr das Fernrohr so justirt, dass das Lichtbüschel genau zentrisch durch die Irisblende hindurchgeht. Auch beim Drehen des Analysators auf grösste Dunkelheit bleibt dann das Lichtbild in der Irisblende still stehen, wenn der Analysator nicht einen sehr grossen Keilwinkel[3]) besitzt. Ein

[1]) Diese Methode, bei welcher das Gauss'sche Okular vermieden wird, kann man bei angemessener Abänderung auch für die Justirung eines Spektrometers benutzen. Sie hat den Vorzug, dass man dabei ein beliebig stark vergrösserndes Okular verwenden kann.

[2]) Man kann leicht einsehen, dass durch geringes Schrägstehen der polirten Fläche des Schiebers gegen die Kollimatorachse die Justirung nicht unrichtig wird.

[3]) Die Richtungsänderung, welche ein Strahl beim Durchsetzen eines Nicols erleidet, ist nicht nur abhängig von dem Winkel, welchen die beiden Endflächen des Nicols mit einander bilden, sondern

Schiefsitzen des Analysators ist in dieser Beziehung ganz ohne Einfluss, weil in der Irisblende sich kreuzende Strahlen den Nicol als parallele Strahlen durchsetzen. Allerdings verursacht das Schiefsitzen beim Drehen des Nicols ein Wandern des Spaltbildes. Das bringt aber keinen Nachtheil mit sich.

Die Nullpunkt-Stellung des Theilkreises, bei welcher der Haupteinfallswinkel φ des Lichtes gleich Null ist, d. h. die Glasplatte senkrecht zu den Strahlen des Spalt-Mittelpunkts steht, kann auf zweierlei Weise ermittelt werden. Entweder man schlägt mittels des Hebels W ein Fadenkreuz im Gesichtsfeld so weit vor, dass sein Schnittpunkt auf der vertikalen Mittellinie des eng gestellten Spalts liegt, öffnet den Spalt ganz und stellt den Schieber N so, dass der Schnittpunkt des Fadenkreuzes genau auf der vertikalen Kante der halbkreisförmigen Oeffnung liegt. Dann bezeichnet diese Kante die vertikale Mittellinie des Spaltes. Sobald nun die beiden Halbkreise mit den geraden Begrenzungslinien an einander stossen, sich also zu einem vollen Kreise ergänzen, ist die Nullpunkt-Stellung des Theilkreises erreicht. Oder aber man bedeckt mit der horizontalen Schneide des Schiebers N die obere Hälfte des etwa 0,5 *mm* weit geöffneten Spalts und stellt darauf ein, dass das Spiegelbild der erleuchteten Spalthälfte den die andere Spalthälfte bedeckenden Theil des polirten Schiebers ganz ausfüllt.

d) Bestimmung des Achsenfehlers.

Bei den Messungen benutzt man als Lichtquelle am besten Natriumlicht, welches hier keiner besonderen Reinigung bedarf und um so schärfere Streifen liefert, je heller es leuchtet. Es ist bemerkenswerth, dass mit der Quecksilberlampe nur dann brauchbare Streifen erhalten werden, wenn man zur spektralen Reinigung greift. Um einen Ueberblick zu geben, mit welcher Empfindlichkeit ungefähr bei sehr dünnen Platten die Bestimmungen des Achsenfehlers für verschiedene Lichtquellen geschehen, wurden Versuche mit zwei Quarzplatten ausgeführt. Die eine ist 0,3 *mm* dick, optisch homogen, mit 12″ Keilwinkel und 3′ Achsenfehler und dreht um 20° Ventzke, die andere ist 1,6 *mm* dick, optisch homogen, mit 5″ Keilwinkel und 5′ Achsenfehler und dreht um 100° Ventzke. Die Resultate enthält die folgende Tabelle, und zwar bezeichnet ε den mittleren Fehler jeder einzelnen Bestimmung einer Grenzlage des Interferenzstreifens, berechnet aus 20 einzelnen Bestimmungen. Der Fehler ε ist von der Grösse des Achsenfehlers unabhängig und geht mit $^3/_{10}$ seines Betrages in die Grösse des Achsenfehlers ν ein.

Die Quarzplatte wird mittels eines Tropfens Zedernholzöl zentrisch auf der das Steuerrad tragenden Glasfläche befestigt. Andere Flüssigkeiten von nahezu gleichem Brechungsexponenten wie Benzylalkohol und Benzylchlorid haben sich nicht bewährt, weil sie zu schnell verdunsten. Es bietet keine Schwierigkeit, durch geeignetes Anpressen die Zedernholzöl-Schicht ziemlich parallel zu machen, sodass ihr Keilwinkel gegen den der Quarzplatte nicht in Betracht kommt. Von dem genügenden Parallelismus der Zedernholzöl-Schicht überzeugt man sich mit Hülfe des Interferenzapparats. Sehr schöne Fizeau'sche Streifen erhält man mit dem blauen Hg-Licht bei der in der Reichsanstalt benutzten Glasplatte durch Reflexion einerseits an der äusseren Quarzfläche und andrerseits an der Fläche zwischen Oel und Glas, während die Fizeau'schen Streifen der Quarzplatte fast ganz unsichtbar sind. Dabei ist der Brechungsexponent des Glases 1,57, des Zedernholzöls 1,52, des Quarzes 1,55.

auch in sehr beträchtlichem Maasse von dem Keilwinkel der Kittschicht, da ihr Brechungsexponent nie genau mit dem ausserordentlichen des Kalkspaths übereinstimmt. Ein Nicol mit parallelen Endflächen kann daher sehr wohl prismatisch wirken.

Lichtquelle	Reinigung	ε in Sekunden	
		bei der 0,8 *mm* dicken Platte	bei der 1,6 *mm* dicken Platte
Hg-Licht gelbgrün	spektral gereinigt	7	7
Na-Licht, Sodastift im Linnemann'schen Sauerstoffgebläse	spektral gereinigt, beide D-Linien enthaltend	10	6
"	durch das grünlichgelbe Jenaer Chromglas 433[III] von 2,5 *mm* Dicke oder durch eine 1,5 *cm* dicke Schicht einer 6%-Kaliumdichromatlösung in Wasser	23	9
"	ungereinigt	24	9
Na-Licht, Sodastift im Bunsen-Brenner	durch Chromglas oder Kaliumdichromatlösung	30	17
"	ungereinigt	46	17

Es lässt sich übersehen, wie gross der Fehler höchstens ist, den ein Keilwinkel ζ im Zedernholzöl bei der Bestimmung des Achsenfehlers ν verursacht. Zunächst wird durch Einfügung des Oelkeils der Spalt im Gesichtsfeld verschoben. Hierdurch entsteht kein Fehler. Zweitens wird die Differenz der beiden Haupteinfallswinkel in den Grenzlagen dadurch fehlerhaft gemessen. Dieser Fehler ist am grössten, wenn die Richtung des Oelkeils in der Ebene liegt, welche die optische Achse des Quarzes mit der Plattennormale bildet. Er beträgt dann 2ζ, weil beim Drehen der Glasplatte in ihrer Ebene aus einer Grenzlage in die andere die Quarzplatte, anstatt in ihrer Ebene zu bleiben, um 2ζ aus ihr herausgedreht wird. Der Fehler von ν überschreitet daher nicht die Grössen $\pm\frac{2}{3}\zeta$.

Die Glasplatte wird nun auf dem Apparat so gedreht, dass die Quarzplatte der Lichtquelle zugewandt ist. Dann wird nach Einstellung eines Interferenzstreifens in das Gesichtsfeld der Analysator so gestellt, dass der Streifen möglichst schmal und dunkel erscheint. Da beim Drehen des Analysators der Streifen im Spalt auch etwas wandert, so muss während der Messung von ν die Stellung des Analysators ungeändert bleiben. Während dann die Platte in ihrer Ebene gedreht wird, hält man den Streifen durch gleichzeitiges Drehen der Mikrometerschraube F (Fig. 6) in der Mitte des Spalts fest und bestimmt durch Ablesung der Trommel direkt die Differenz $\varphi_1 - \varphi_2$, wo φ_1 und φ_2 die beiden Grenzwerthe des Haupteinfallswinkels sind. Der mittlere Einfallswinkel φ, der nur angenähert bekannt zu sein braucht, wird am Theilkreis abgelesen. Ist nun n_o der ordentliche Brechungsexponent des Quarzes für das verwendete homogene Licht, so berechnet sich der Achsenfehler ν nach der Gleichung

$$\nu = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{4} \cdot \frac{\cos\varphi\,(2\,n_o{}^2 - \sin^2\varphi)}{(n_o{}^2 - \sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 6)$$

Sehr einfach gestaltet sich die Berechnung, wenn man mit Natriumlicht in der Nähe von $\varphi = 40^0$ arbeitet, was immer möglich ist; man hat dann nämlich einfach

$$\nu = 0{,}3\,(\varphi_1 - \varphi_2) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 7)$$

Die durch die optische Achse der Quarzplatte und die Plattennormale gelegte Ebene ist dadurch bestimmt, dass in den beiden durch die Haupteinfallswinkel φ_1

und φ_2 gekennzeichneten Grenzlagen die optische Krystallachse in der Haupteinfallsebene, d. h. parallel der Ebene des Theilkreises liegt. Die Richtung der optischen Achse in dieser Ebene kann man nach der folgenden Regel bestimmen. Wenn beim Drehen der Platte in ihrer Ebene der Streifen sich aus der Grenzlage nach rechts bewegt, so hatte die optische Achse in dieser Grenzlage bei der in Fig. 8 gewählten Lage der Platte A die durch BC angedeutete Richtung. Oder anders ausgedrückt: Läuft die Zählung des Theilkreises im Sinne des Uhrzeigers und die der Trommel so, dass grösseren Zahlen der Trommel grössere Zahlen des Theilkreises entsprechen, so befindet sich bei der in Fig. 8 gewählten Lage der Platte die optische Achse in der Richtung BC, wenn die Trommel auf der grösseren Zahl φ_1 steht.

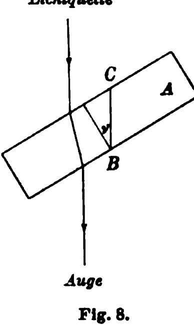


Fig. 8.

Mit dem Achsenfehlerapparat kann der Achsenfehler jeder beliebigen einachsigen Krystallplatte gemessen werden.

Aus den bisherigen Prüfungen von Saccharimeterquarzen geht hervor, dass ein geübter Schleifer leicht Platten mit einem Achsenfehler von weniger als 8 Minuten herstellen kann. Uebrigens sind selbst Achsenfehler von 12 Minuten für die Drehungsbestimmungen ohne Bedeutung.

Ueber den Zusammenhang von Objektivdistanz und stereoskopischem Effekt beim Sehen durch Doppelfernrohre.

Von
Dr. O. Hecker in Potsdam.

Der Hauptvortheil, den uns das Sehen durch Doppelfernrohre bietet, ist der, dass wir von Gegenständen in nicht zu grosser Entfernung ein Bild erhalten, wie es uns ein Stereoskop giebt, dass wir also plastisch sehen, was bei einfachen Fernrohren in keiner Weise zu erreichen ist.

Die Grösse der bei Doppelfernrohren erreichbaren Plastik hängt von der Vergrösserung des Doppelfernrohrs, sowie von der Distanz der Objektive von einander ab.

Von Helmholtz[1]) wurde für das Sehen mit unbewaffnetem Auge die Formel abgeleitet

$$\Delta e = \frac{r^2}{f}.$$

Hierin bedeutet Δe die kleinste Distanz zweier Gegenstände in der Sehrichtung, bei der dieselben sich noch stereoskopisch von einander abheben oder, was dasselbe ist, bei der man noch wahrnehmen kann, dass die Entfernung der Gegenstände vom Auge verschieden gross ist; r ist ihre mittlere Entfernung und schliesslich ist f eine Konstante, die die Entfernung angiebt, bis zu welcher stereoskopisches Sehen mit blossen, normal guten Augen noch möglich ist. Für mich sowie für meinen Kollegen im Geodätischen Institut, Hrn. Wanach, der sich an den im Folgenden gegebenen Messungen freundlichst betheiligte, liegt diese Grenze bei etwas mehr als 500 m, wie durch eine frühere Beobachtungsreihe[2]) festgestellt wurde.

---

[1]) Helmholtz, Physiolog. Optik, Hamburg u. Leipzig 1896. *S. 815.*

[2]) *Zeitschr. f. Vermess.* ***30.*** *S. 75. 1901.*

Beobachtet man mit bewaffnetem Auge, mit einem Doppelfernrohr etwa, so wird Δe kleiner, da der Ausdruck rechts noch den Faktor

$$\frac{a}{d \cdot v}$$

bekommt, worin a die Pupillendistanz, d den Abstand der beiden Objektive und v die Vergrösserung des Doppelfernrohrs bezeichnen. Es ist dieses der reziproke Werth der sogenannten totalen Plastik, wenn die mit unbewaffneten Augen erzielte Plastik gleich 1 gesetzt wird. Es wird also

$$\Delta e = \frac{r^2 a}{f d v}.$$

Um untersuchen zu können, ob sich bereits geringe Vergrösserungen der Objektivdistanz beim praktischen Sehen vortheilhaft bemerkbar machen, was vielfach bezweifelt wird, habe ich sowie Hr. Wanach Messungen mit einem Prismenfernrohr von 8-facher Vergrösserung ausgeführt, das mir von der Firma Carl Zeiss in Jena für diesen Zweck geliefert wurde. Bei diesem lässt sich die Objektivdistanz innerhalb der Grenzen von 113 *mm* und 33 *mm* beliebig variiren.

Beobachtet man mit veränderter Objektivdistanz, so bleiben in der obigen Gleichung r, a, f und v konstant, nur d wird bei den Messungen geändert, es müssen also die Beobachtungen der Formel entsprechen

$$\Delta e = \frac{C}{d},$$

und es müssen somit, soweit der Einfluss der Objektivdistanz in Betracht kommt, die durchschnittlichen Fehler umgekehrt proportional mit der Vergrösserung des Abstandes beider Objektive von einander verlaufen.

Die Messungen wurden nach einer von Helmholtz erdachten Methode angestellt. Eine auf einem beweglichen Lineal lothrecht befestigte Nadel lässt sich mittels eines Schnurlaufs vom Standpunkt des Beobachters aus in der Sehrichtung gegen zwei andere rechts und links in gleicher Entfernung unbeweglich befestigte Nadeln verschieben. Man betrachtet nun diese Nadeln durch das Doppelfernrohr und sucht die mittlere Nadel möglichst genau so zu stellen, dass sie in die Ebene der beiden anderen fällt. Der Einstellungsfehler, der Betrag, um welchen die mittlere Nadel von dieser Ebene abweicht, kann an einer Skale abgelesen werden; er giebt direkt Δe.

Die folgende Tabelle enthält nach der Grösse des Objektivabstandes geordnet den Objektivabstand d, die beobachteten durchschnittlichen Fehler einer Einstellung (Mittel aus zwei Reihen), ferner die nach der Methode der kleinsten Quadrate nach der Formel $n + v = a\,C$ ausgeglichenen Werthe derselben und schliesslich die übrigbleibenden Fehler.

Objektivabstand in *mm*	113	103	93	83	73	63	53	43	33
$\frac{100}{d}$	0,88	0,97	1,07	1,20	1,37	1,59	1,89	2,32	3,03
Durchschn. Fehler . .	0,75	0,95	0,95	1,10	1,30	1,65	1,45	1,95	2,80
Berechn. Fehler . . .	0,80	0,87	0,96	1,08	1,23	1,43	1,69	2,08	2,72
Beob.—Rechn. . . .	— 0,05	+ 0,08	— 0,01	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,22	— 0,24	— 0,13	+ 0,08

Wie man sieht, genügen die Beobachtungen der Formel, es geht also praktisch wirklich die Zunahme der Plastik proportional mit der Vergrösserung des Abstandes der beiden Objektive.

Hr. Wanach beobachtete folgende 6 Reihen mit je 10 Einstellungen:

Objektivabstand in *mm*	113	63	113	63	113	63
$\frac{100}{d}$	0,88	1,59	0,88	1,59	0,88	1,59
Durchschn. Fehler	0,62	1,12	0,63	1,03	0,54	1,12
Berechn. Fehler	0,61	1,08	0,61	1,08	0,61	1,08
Beob.—Rechn.	+ 0,01	+ 0,04	+ 0,02	— 0,05	— 0,07	+ 0,04

Unter etwas abgeänderten Versuchsbedingungen erhielt ich aus 8 Reihen mit je 10 Einstellungen folgende Werthe:

Objektivabstand in *mm*	113	63	113	63	113	63	113	63
$\frac{100}{d}$	0,88	1,59	0,88	1,59	0,88	1,59	0,88	1,59
Durchschn. Fehler . . .	0,33	0,69	0,47	0,83	0,34	0,66	0,39	0,57
Berechn. Fehler	0,39	0,69	0,39	0,69	0,39	0,69	0,39	0,69
Beob.—Rechn..	— 0,06	0,00	+ 0,08	+ 0,14	— 0,05	— 0,03	0,00	— 0,12

Es genügen also auch hier die beobachteten Werthe der Formel, da die übrigbleibenden Fehler bei gleichem Objektivabstand bei der Summirung sich fast aufheben. Hiernach lässt sich nun leicht die Grenze, bei der die Möglichkeit stereoskopischen Sehens aufhört, für verschiedene Objektivdistanzen berechnen. Nimmt man als normal an, dass für unbewaffnete gute Augen die Grenze der stereoskopischen Wahrnehmung bei 430 *m* liegt, so liegt bei Benutzung eines Doppelfernrohrs von 8-facher Vergrösserung bei dem

Objektivabstand	63	73	83	93	103	113 *mm*
die Grenze bei	3,44	3,99	4,53	5,08	5,62	6,17 *km*.

Man sieht also, dass selbst eine geringe Vergrösserung der Objektivdistanz als nicht zu unterschätzender Vortheil anzusehen ist, da sie die Grenze des plastischen Sehens nicht unbedeutend erweitert.

Noch in einer anderen Hinsicht wirkt die Vergrösserung der Objektivdistanz günstig, wie hier kurz erwähnt werden soll. Bei einem Doppelfernrohr mit 8-facher Vergrösserung und einer Objektivdistanz gleich der Augendistanz erscheinen alle Gegenstände in der Tiefe im Verhältniss 1 : 8 plattgedrückt, wovon man sich leicht bei der Betrachtung eines Baumes mit durchsichtiger kugelförmiger Krone überzeugen kann. Erhöht man aber die Objektivdistanz von der als normal angenommenen Pupillendistanz von 63 *mm* auf 113 *mm*, so erscheinen die Gegenstände nur noch im Verhältniss 1 : $4^1/_2$ plattgedrückt. Ein unverzerrtes Bild erhält man nur, wenn die Objektivdistanz gleich Pupillendistanz × Vergrösserung des Doppelfernrohrs gemacht wird.

Referate.

Ueber die Tachymetrie mit dem Theodolit.

Von A. Sporeni. *Rivista di Topogr. e Catasto* **14.** *S. 33. 1901/02.*

Der Verf. beschäftigt sich ausführlich nur damit, die allgemeinen Grundgleichungen der Tachymetrie (mit Latte) für die Horizontaldistanz und für den Höhenunterschied in neuen Formen darzustellen, die er dann auf das gewöhnliche Tachymeterfernrohr mit festem diastimometrischen Winkel (festen „Distanz"-Fäden) anwendet.

Sind vom Aufstellungspunkt O (Achsenschnittpunkt) des Instruments aus die Höhenwinkel nach den an der vertikalen Latte den Ablesungen p_1 und p_2 entsprechenden beliebigen Punkten gleich α_1 und α_2, ist ferner $\gamma = \alpha_2 - \alpha_1$ der Winkel zwischen den beiden Visuren und l (der Verf. hat S) der Lattenabschnitt zwischen p_1 und p_2, d. h. $l = p_2 - p_1$, sind endlich h_1 und h_2 die Höhenunterschiede zwischen der Kippachse und den Punkten p_1 und p_2 und e die Horizontaldistanz (D beim Verf.) zwischen Kippachse und Latte, so lässt sich der zunächst für e sich ergebende Ausdruck

$$e = \frac{l}{\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

auf die Form bringen

$$e = l \operatorname{ctg}\gamma \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg}\alpha_2 \operatorname{tg}\alpha_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Eliminirt man aus 1) und 2) das eine Mal α_1, das andere Mal α_2 und setzt noch

$$l \cdot \operatorname{ctg}\gamma = g \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

so erhält man für die obere und untere Visur die zwei Gleichungsgruppen I) und II) (wo noch H die Höhe des Lattenfusspunkts über dem Aufstellungspflock des Höhenwinkelinstruments und i die Höhe von dessen Kippachse über diesem Aufstellungspflock bedeutet)

$$\left.\begin{aligned} e &= g\cos^2\alpha_2 + l\sin\alpha_2\cos\alpha_2 \\ h_2 (= e\cdot\operatorname{tg}\alpha_2) &= g\sin\alpha_2\cos\alpha_2 + l\sin^2\alpha_2 \\ H &= i + h_2 - p_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad I)$$

$$\left.\begin{aligned} e &= g\cos^2\alpha_1 - l\sin\alpha_1\cos\alpha_1 \\ h_1 (= e\cdot\operatorname{tg}\alpha_1) &= g\sin\alpha_1\cos\alpha_1 - l\sin^2\alpha_1 \\ H &= i + h_1 - p_1 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad II)$$

Setzt man für einen beliebigen Höhenwinkel α

$$\left.\begin{aligned} e' &= g\cos^2\alpha & h' &= g\sin\alpha\cos\alpha \\ d' &= l\sin\alpha\cos\alpha & t' &= l\sin^2\alpha \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 4)$$

(sodass sich leicht ablesbare Beziehungen zwischen diesen Grössen ergeben), so haben die Gleichungen I) und II), wenn das obere Zeichen (+) auf die obere, das untere (—) auf die untere Zielung sich bezieht, gemeinschaftlich die Form

$$\left.\begin{aligned} e &= e' \pm d' \\ h &= h' \pm t' \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{I) und II)}$$

Die ersten Glieder rechts in beiden Ausdrücken sind die *Hauptglieder*, $g\cos^2\alpha$ und $g\cdot{}^1/_2\sin 2\alpha$, die sich in den Tachymetertabellen berechnet finden; aber auch die Korrektionsglieder d' und t' sind diesen Tafeln zu entnehmen.

Führt man nunmehr die Winkelhalbirende von $\gamma = \alpha_2 - \alpha_1$ ein, und setzt $\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} = \frac{1}{2}\gamma = \omega$, $\frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2} = \alpha$ gleich dem Höhenwinkel der Winkelhalbirenden, h = dem Höhenunterschied zwischen Kippachse und dem der Winkelhalbirenden entsprechenden Lattenpunkt, ferner $\frac{p_2 + p_1}{2} = m$, $h_2 - h = b$, $h - h_1 = a$, $\frac{b - a}{2} = q$ (gleich dem Abstand des Halbirungspunktes der Strecke $p_1 p_2$ von dem der Winkelhalbirenden entsprechenden Lattenpunkt; der Verf. hat statt q die Beziehung e, vgl. dagegen oben), endlich $\frac{b + a}{2} = \frac{l}{2} = \frac{p_2 - p_1}{2} = c$, so erhält man mit

$$\left.\begin{aligned} g_2 &= b\cdot\operatorname{ctg}\omega \qquad g_1 = a\cdot\operatorname{ctg}\omega \\ \text{und} \quad G &= \frac{g_2 + g_1}{2} = c\cdot\operatorname{ctg}\omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

durch Addition der zwei Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} e &= g_1\cos^2\alpha + a\sin\alpha\cos\alpha \\ e &= g_2\cos^2\alpha - b\sin\alpha\cos\alpha \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

und Halbirung für e und das davon abhängige h die neuen Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} e &= G\cos^2\alpha - q\sin\alpha\cos\alpha \\ h\,(= e\cdot\mathrm{tg}\,\alpha) &= G\sin\alpha\cos\alpha - q\sin^2\alpha \\ H &= i + h - p \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad \text{III)}$$

wo $p = m - q$ ist.

Die Gleichungen III) für das distanzmessende Fernrohr mit festen Fäden und dem diastimometrischen Winkel $2\,\omega$ (also der Konstanten $^1/_2\,\mathrm{ctg}\,\omega$, da $l\cdot{}^1/_2\,\mathrm{ctg}\,\omega = c\cdot\mathrm{ctg}\,\omega = G$ ist), haben also abermals genau den Bau von I) und II). Will man statt $G = c\cdot\mathrm{ctg}\,\omega = l\cdot{}^1/_2\,\mathrm{ctg}\,\omega$ wieder die oben benutzte Zahl $g = l\,\mathrm{ctg}\,\gamma = c\cdot 2\,\mathrm{ctg}\,2\,\omega$ einführen, so wird mit

$$G - g = c\cdot\mathrm{tg}\,\omega = n = q\cdot\mathrm{ctg}\,\alpha \quad \ldots\ldots \quad 7)$$

$$\left.\begin{aligned} e &= g\cos^2\alpha + n\,(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) \\ h &= g\sin\alpha\cos\alpha + q\,(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad \text{IV)}$$

Alle diese Beziehungen sind *praktisch* nicht von grosser Bedeutung (vgl. auch die Zahlen der Tabellen *a. a. O. S. 36/37*, *S. 78/79* und *S. 92/93*); doch ist es von theoretischem Interesse, zu sehen, wie die Gegenüberstellung der genauen für den Tachymetertheodolit mit festen Fäden im Okular gültigen Gleichungen und die für den „Höhenkreis als Distanzmesser" aufzustellenden Gleichungen in I) bis IV) gemeinschaftliche Formen zeigen lässt.

Hammer.

Ueber Fortschritte in der Konstruktion von Horizontalpendeln mit mechanischer Registrirung.

Von G. Agamennone. *Boll. della Soc. Sism. Ital.* **7.** *1901.*

Neuer Seismometrograph.

Von Demselben. *Rend. Accad. dei Linc.* **9.** *1900.*

Makroseismometrograph mit drei Komponenten.

Von Demselben. *Boll. della Soc. Sism. Ital.* **7.** *1902.*

In der erstgenannten Abhandlung bespricht Verfasser kurz die in den verschiedenen Ländern gebräuchlichen Horizontalpendel mit mechanischer Registrirung. In der folgenden Mittheilung beschreibt er die Einrichtung eines Mikroseismographen seiner Konstruktion. Das Instrument soll zur Beobachtung kleinster Bodenbewegungen dienen. Es ist ein etwa 10 *m* langes Pendel mit einem Pendelgewicht von 500 *kg*. Die Einrichtungen zur Vergrösserung der Pendelbewegung sowie die Schreibhebel liegen nicht unter, sondern über dem Pendelgewicht. Als Verbesserung gegenüber der Konstruktion verschiedener anderer langer Pendelseismographen muss bezeichnet werden, dass der in den Vergrösserungsmechanismus und in die Schreibhebel eingreifende Stift am Pendel im Schwingungspunkte des Pendels befestigt ist, was durch eine Aussparung in dem zylindrischen Pendelgewicht ermöglicht ist.

Als Registrireinrichtung dient eine vom Verfasser konstruirte Vorrichtung, die eine langsam und eine schnelllaufende Registrirtrommel besitzt, von denen die letztere jedoch erst beim Eintreten eines Bebens in Folge einer von den in Schwingungen gerathenden Schreibhebeln veranlassten elektrischen Auslösung sich in Bewegung setzt.

Der in der letzten Abhandlung beschriebene Makroseismograph für die Beobachtung der beiden Horizontal- und der Vertikalkomponente von Erdbeben ist nur für die Registrirung stärkerer Beben bestimmt. Zwei um 90° zu einander gestellte Horizontalpendel von 1,5 *kg* Gewicht zeichnen die horizontale Komponente des Bebens in 1- bis 2-facher Vergrösserung auf, die Registrirung der Vertikalkomponente geschieht durch einen einseitig belasteten Hebel, der durch vier Federn gehalten wird. Die Schwingungen dieses Hebels werden durch eine Schreibfeder aufgezeichnet.

Hck.

Methode zur Bestimmung der Dichte metallischer Dämpfe, insbesondere von Natrium- und Quecksilberdampf.

Von F. B. Jewett. *Phil. Mag.* **4.** *S. 546. 1902.*

Die Methode besteht darin, die in einem Kolben bekannten Inhalts befindliche Menge gesättigten Dampfes entweder aus ihrer Niederschlagsmenge bei Abkühlung des Gefässes oder durch Ermittelung der verdampften Menge zu bestimmen.

Zu den Versuchen mit Natrium dient ein 2 Liter-Kolben mit einem engeren und einem weiteren Ansatz. An den letzteren wird ein kleiner Behälter mit einer geringen Menge metallischen Natriums angeschmolzen; der engere Ansatz dient zum Anschluss an eine Luftpumpe. Der Ballon wird zunächst in gewöhnlicher Weise, dann nach Beschickung mit einem inerten Gase (Wasserstoff oder Stickstoff) nochmals evakuirt und nach Abschmelzen der engen Röhre in einen elektrisch geheizten Thermostaten eingesetzt. Nach Erreichung einer konstanten Temperatur wird der Ballon aus dem Thermostaten entfernt, langsam abgekühlt, geöffnet und dann die beim Abkühlen an den Gefässwandungen niedergeschlagene Dampfmenge auf chemischem Wege bestimmt. Eine bei Versuchen in höheren Temperaturen befürchtete Einwirkung des Natriums auf das Glas des Kolbens wurde nur beobachtet, wenn die geringe nach dem Auspumpen im Kolben verbliebene Gasmenge Sauerstoff oder Wasserdampf enthielt. Ausserdem ergaben sich bei Gegenwart von Luft überaus fehlerhafte Resultate, sodass die späteren Beobachtungen, da auch die Verwendung von Wasserstoff Uebelstände im Gefolge hatte, stets nur bei Gegenwart von Stickstoff angestellt wurden.

Bei der Bestimmung der Dichte von Quecksilberdampf wurde die beschriebene Methode insofern modifizirt, als am weiteren Ansatz des 2 Liter-Kolbens ein enges mit Quecksilber gefülltes Rohr angesetzt wurde, welches bei allen Versuchen in senkrechter Lage gehalten werden musste. Man beobachtete alsdann die bei steigender Temperatur durch Bildung einer grösseren Dampfmenge erfolgende Abnahme des flüssigen Quecksilbers und konnte aus den Dimensionen des Kolbens und des vertikalen Röhrchens in Verbindung mit den Ausdehnungskoeffizienten des Glases und des Quecksilbers die Dampfdichte ermitteln.

Den Beobachtungsresultaten des Verf. entnehmen wir folgende Einzelwerthe für die Dichte von Natrium- und Quecksilberdampf; die Angaben für Quecksilber stimmen mit denen von Regnault und Hertz, sowie von Ramsay und Young im Allgemeinen auf einige Prozent überein.

Natrium.

Temperatur	Dichte
368°	0,000 00009
380	0,000 00043
390	0,000 00160
400	0,000 00350
420	0,000 00750

Quecksilber.

Temperatur	Dichte	Temperatur	Dichte
40°	0,000 0000_7	200°	0,000 1580
60	0,000 0003	220	0,000 2020
80	0,000 0007	240	0,000 3754
100	0,000 0021	260	0,000 5830
120	0,000 0060	280	0,000 8645
140	0,000 0138	300	0,001 3466
160	0,000 0302	320	0,001 9879
180	0,000 0624	325	0,001 9960

Schl.

Ueber die Messung sehr tiefer Temperaturen. IV. Vergleichung des Platinthermometers mit dem Wasserstoffthermometer.

Von B. Meilink. *Communic. Phys. Labor. Univers. Leiden Nr. 77. 1902.*

Bei den Vergleichungen ist die folgende Form eines Platinwiderstands-Thermometers benutzt worden, welche in der Absicht konstruirt wurde, das Gefäss des Wasserstoffthermometers in eine möglichst symmetrische Lage zum Platinthermometer zu bringen.

Der Platinwiderstandsdraht ist bifilar auf einen mit Gewinde versehenen Glaszylinder von 5 *cm* Höhe und 4,1 *cm* äusseren Durchmesser aufgewickelt, wobei die Mitte des Drahtes

um einen am Zylinder festgeschmolzenen Glashöcker geschlungen war. Die Enden des Drahtes sind an kupferne Backen gelöthet, die am Glas durch Schrauben festgehalten werden, unter Benutzung einer Zwischenlage von Zinnfolie. Von den Backen führen je zwei Kupferdrähte, welche in der Nähe des Widerstandes dicker (bis 2 *mm*) gewählt sind, zur Messbrücke. Bei der Vergleichung mit dem Gasthermometer wurde dann der Glaszylinder über das Gasgefäss gesteckt. Die wiederholt vorzunehmende Kontrole des Nullpunkts musste in der Weise ausgeführt werden, dass der Widerstand in ein mit trocknem Isopentan oder Amylen gefülltes, mit Rührvorrichtung versehenes und durch eine Trockenvorrichtung verschlossenes Glasrohr gebracht wurde; die Temperatur im Innern kontrolirte man mittels eines in der Mitte des Glaszylinders befindlichen Beckmann'schen Thermometers; sie wich um etwa 0,02° von der Temperatur des schmelzenden Eises ab.

Gegen die beschriebene Konstruktion lässt sich der Einwand erheben, dass sie ohne Gefahr des Zerspringens nicht in hinreichender Weise durch Erhitzen künstlich gealtert werden kann, und dass also langsame kontinuirliche Nullpunktsänderungen nicht ausgeschlossen sind. *Rt.*

Ueber die Messung hoher Temperaturen und das Stefan'sche Gesetz.

Von Ch. Féry. *Compt. rend.* ***134.*** *S. 977. 1902.*

Die Mittheilung giebt die Konstruktion eines Pyrometers an, welches in bekannter Weise mit Hülfe eines Thermoelements die schwarze Strahlung eines Körpers misst und also nach dem Stefan'schen Gesetz die Temperatur des Körpers zu ermitteln gestattet.

Im Brennpunkt eines Fernrohrs, in das die Strahlung durch ein Flussspath-Objektiv eintritt, befindet sich die Löthstelle eines kreuzförmig angeordneten Thermoelements, welches aus je einer Lamelle Konstantandraht und Eisendraht vom Querschnitt $0{,}2 \times 0{,}003$ *mm*² gebildet ist. Eine passend gestaltete Blende und ein festes Diaphragma sorgen dafür, dass immer ein konstanter Theil des Thermokreuzes und nur dieser bestrahlt wird, sodass die Angaben des Pyrometers unabhängig von den Dimensionen und der Entfernung der Strahlungsquelle sind. Der durch das Thermoelement bewirkte Ausschlag eines Galvanometers ist ein Maass für die Temperatur.

Die Vergleichung eines derartigen Pyrometers mit einem Le Chatelier'schen Platin-Platinrhodium-Element ergab eine Uebereinstimmung der Temperaturangaben des letzteren und der nach dem Stefan'schen Gesetz berechneten des Pyrometers auf mehrere zehntel Prozent, abgesehen von einer Differenz von 1,85 % bei der niedrigsten Beobachtungstemperatur (850°). Dabei wird eine Mittheilung vermisst über die Temperaturskale, auf welche die Angaben des Le Chatelier'schen Elements bezogen sind. Nullpunktsänderungen sind nicht beobachtet worden.

Das beschriebene Instrument dürfte für technische Zwecke gut brauchbar sein; für genauere Messungen wird man es möglicherweise wegen der bisweilen eintretenden dauernden Aenderungen in der elektromotorischen Kraft des Thermoelements Konstantan-Eisen öfters nachzuaichen haben. Da aber über die Empfindlichkeit des Galvanometers nichts mitgetheilt wird, so lässt sich auch kein Schluss ziehen über die durch die Strahlung bewirkte Temperaturerhöhung der Löthstelle des Thermopaares und über den Einfluss der erwähnten Fehlerquelle. Das Pyrometer ist, gleich den optischen Pyrometern von Le Chatelier, von Kurlbaum und von Wanner, welche beiden letzteren dem Verf. nicht bekannt zu sein scheinen, für beliebig hohe Temperaturen anwendbar. *Rt.*

Ueber die Anwendung eines Govi'schen Prismas bei einem Apparat zur Prüfung von geraden Linien und Ebenen.

Von A. Lafay. *Compt. rend.* ***133.*** *S. 920. 1901.*

Ein Govi'sches Prisma (bestehend aus zwei gleichgrossen, gleichseitig rechtwinkligen Glasprismen, deren halbversilberte Hypotenusenflächen *H* so auf einander gekittet sind, dass sie sich ganz decken und dass die Prismenkanten parallel sind) entwirft von einem leuchten-

den Punkte im Allgemeinen vier getrennte Bilder, zwei rein dioptrische und zwei katadioptrische, die paarweise symmetrisch zur Ebene H liegen (Fig. 1). Rückt der leuchtende Punkt in diese Ebene, so fällen je zwei der Bilder in eins zusammen. Diese Eigenschaft macht es möglich, ein Govi'sches Prisma auf einem Schlitten oder Wagen zwischen zwei festen punktförmigen Lichtquellen L_1 und L_2 mit Hülfe von Spiegeln und der Fernrohre F_1 und F_2 so zu orientiren, dass die Gerade $L_1 L_2$ in der Kittebene liegt (Fig. 2). Bei Verschiebung des Wagens längs der zu prüfenden Geraden RR_1 bildet diese stets wieder zu erreichende Stellung des Prismas die Nullstellung für einen mit dem Prisma fest verbundenen, senkrecht zu $L_1 L_2$ mikrometrisch verschiebbaren Taster P.

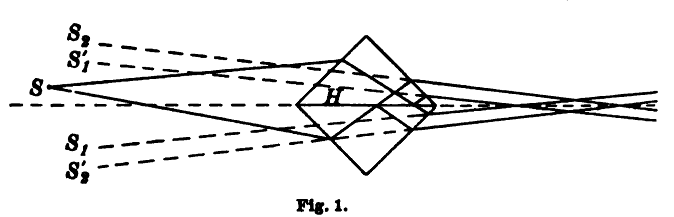


Fig. 1.

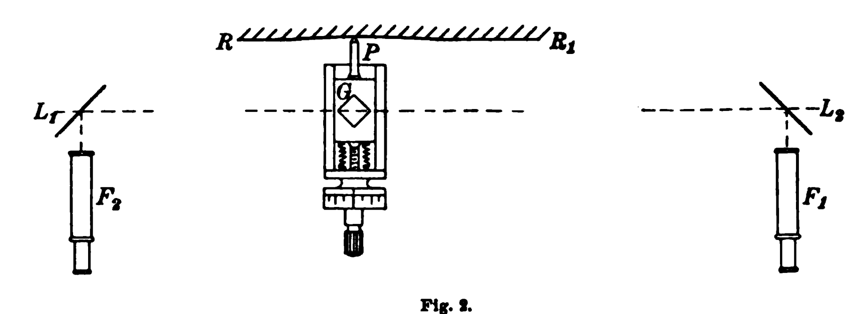


Fig. 2.

Um eine Gerade auf Geradlinigkeit zu prüfen, orientirt man sie zunächst mit Hülfe des Prismas so, dass die Verbindungsgerade ihrer beiden Endpunkte der Geraden $L_1 L_2$ parallel liegt. Dann verschiebt man den Schlitten. Die jeweils mikrometrisch zu messende Differenz zwischen der Nullstellung des Tasters und der Einstellung auf Berührung mit der zu prüfenden Geraden giebt die Abweichungen derselben von der Geradlinigkeit.

Ebenen sind auf Ebenheit zu prüfen, indem gerade Linien in denselben auf Geradlinigkeit geprüft werden. *Wa.*

Luftelektrische Messungen im Freiballon.

Von H. Ebert. *Nach einem Sonderabdruck.*

Ueber die Bedeutung der luftelektrischen Messung im Freiballon.

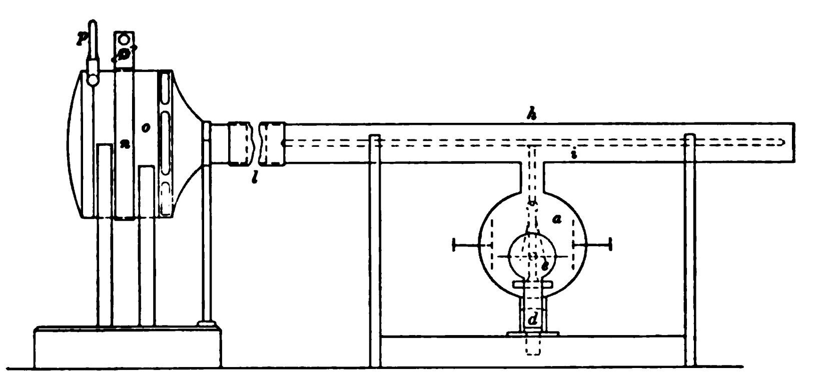
Von Demselben. *Illustr. aeronaut. Mitthlgn.; Deutsche Zeitschr. f. Luftschiffahrt 1901. S. 11.*

Aspirationsapparat zur Bestimmung des Ionengehalts der Atmosphäre.

Von Demselben. *Phys. Zeitschr.* **2.** *S. 662. 1901.*

Die Frage nach der Herkunft der Luftelektrizität ist in letzter Zeit dadurch in ein neues Stadium getreten, dass man verschiedene Ursachen kennen gelernt hat, welche im Stande sind, die Luft mit Elektrizität zu laden und dadurch gleichzeitig für Elektrizität leitend zu machen. Dies tritt z. B. ein unter der Wirkung von Röntgen-Strahlen, ferner in der Umgebung der sogenannten radioaktiven Substanzen, sowie endlich unter dem Einfluss ultravioletter Strahlung (vgl. *diese Zeitschr.* **20.** *S. 212 u. 250. 1900*). Die Luft wird unter diesem Einfluss „ionisirt", es entstehen positiv und negativ geladene Lufttheilchen und diese Träger der Elektrizität nennt man Ionen. Nach der Vorstellung von Lenard rührt nun die Luftelektrizität her von dem ultravioletten Theil der Sonnenstrahlung, welche allerdings nur in den obersten Luftschichten wirksam sein kann, da diese Strahlen durch die Atmosphäre stark absorbirt werden. Es ist daher zu erwarten, dass die Luft in grösseren Höhen reicher an Ionen sein werde, als in der Nähe des Erdbodens. Diese

Folgerung der Hypothese über den Ursprung der Luftelektrizität kann nur durch Beobachtungen im Freiballon geprüft werden, welche dadurch ein erhöhtes Interesse gewinnen. Die Ionisirung der Luft wird gemessen durch die Geschwindigkeit, mit der ein elektrisch geladener, isolirter Leiter seine Ladung verliert. Früher nahm man an, dass die Ladung sich in die Luft zerstreut in Folge der Spitzenwirkung, die der Staub erzeugt, und glaubte, dass besonders in feuchter Luft die Entladung rasch vor sich geht. Dagegen haben die Beobachtungen von Elster und Geitel erwiesen, dass gerade in staubhaltiger und in feuchter Luft eine langsamere Entladung stattfindet als in reiner, sonniger Atmosphäre. Die Ionentheorie lässt eine ungezwungene Erklärung dieser Erscheinungen zu. Der elektrisch geladene Körper zieht die entgegengesetzt geladenen Luftionen an, welche ihre Ladung dann an ihn abgeben und die ursprüngliche Elektrizität auf diese Weise allmählich neutralisiren; bei sonnigem Wetter ist die Luft reicher an Ionen und die Entladung dadurch rascher. Diese Vorstellungen werden noch durch einen schönen, von Elster und Geitel angegebenen Versuch bestärkt. Wenn der geladene Konduktor von einem gleichnamig geladenen Drahtkäfig umgeben wird, der aber, z. B. durch eine Zamboni'sche Säule, auf konstanter Spannung erhalten wird, so geht die Entladung viel schneller vor sich, als ohne den Käfig. Nach der alten Vorstellung könnte man sich diesen Vorgang nicht erklären,



nach der obigen Theorie dagegen nimmt man an, dass der Drahtkäfig, vermöge seiner grösseren Oberfläche, mehr Ionen anzieht, als der Konduktor; diese Ionen neutralisiren sich z. Th. an dem Käfig, z. Th. fliegen sie durch die Maschen desselben hindurch und entladen den Konduktor. Man benutzt diesen Umstand zur Verstärkung der Entladungsvorgänge beim Studium der Ionisirung der Luft.

Der von Elster und Geitel angegebene Messapparat zur Bestimmung der freien Ionen besteht aus einem Aluminiumblatt-Elektroskop mit aufgesetztem, geschwärztem Metallzylinder (*Phys. Zeitschr.* **1.** *S. 11. 1899*). Mit einem solchen Apparat hat Verf. bei drei von München aus unternommenen Ballonfahrten (am 30. 6. und 10. 11. 1900 und 17. 1. 1901) in dem Kugelballon „Akademie" (1300 *cbm*) des Münchener Vereins für Luftschifffahrt Messungen über den Ionengehalt der Luft angestellt und dabei auch gefunden, dass Störungen der Beobachtungen durch reibungselektrische Ladungen des Ballons nicht nachweisbar sind. In der Nähe des Erdbodens zeigt sich eine unipolare Leitfähigkeit der Luft, welche darauf beruht, dass der negativ geladene Erdkörper die positiven Luftionen heranzieht, sodass negative Ladungen rascher verschwinden, als positive; auch auf Bergen zeigt sich noch die unipolare Leitfähigkeit. In grösseren Höhen aber, wie sie mit dem Freiballon erreicht werden, findet man eine zunehmende Gleichheit für die Entladungsgeschwindigkeit beider Elektrizitäten. Die Beobachtungen von Elster und Geitel über die stärkere Ionisirung der sonnigen Atmosphäre fand Verf. bestätigt, ebenso die Verstärkung der Wirkung durch einen Drahtkäfig.

Um den Gehalt der Luft an freier Elektrizität absolut messen zu können, konstruirte Verf. einen Aspirationsapparat, ähnlich dem Assmann'schen Aspirationspsychrometer (vgl. die Figur).

Im Aspirator *o*, der mit dem Schlüssel *p* aufgezogen wird, befindet sich eine sehr kräftige Feder, die ein Schaufelrad in rasche Umdrehung versetzt. Dieses saugt die Luft durch den Gummischlauch *l* (Weite 3 *cm*, Länge 40 *cm*) und durch die innen und aussen geschwärzte 42 *cm* lange und 2,9 *cm* weite Messingröhre *h*; innerhalb dieser befindet sich der ebenfalls geschwärzte Messingzylinder *i* (0,5 *cm* dick, 39,9 *cm* lang), der mit dem Elektroskop *a* in Verbindung steht. Durch einen Ring *n* kann die ganze Vorrichtung an den Ballon angehängt werden. Die Kapazität der beiden Metallzylinder beträgt 11,4 elektrostat. Einheiten, das Potentialgefälle von innen nach aussen bei Ladung mit 200 Volt und Erdung des Gehäuses 165 Volt pro *cm*. Die Versuche mit diesem Apparat, durch den in 10 Minuten etwa 1 *cbm* Luft hindurchgesaugt wurde, haben ergeben, dass im Durchschnitt der absolute Betrag der Elektrizitätsmenge in der Luft sehr klein ist; er erreicht in der Nähe der Erde nur Werthe von der Grössenordnung einer elektrostatischen Einheit. *W. J.*

Apparat zur Demonstration der dielektrischen Polarisation.

Von F. Maccarrone. *Nuovo Cimento* **2.** *S. 88. 1901.*

Denkt man sich zwischen die Platten eines Luftkondensators zwei gleiche zylindrische Stücke eines Dielektrikums gebracht, so werden beide bei der Ladung des Kondensators polarisirt und stossen sich in Folge dessen mit einer Kraft ab, die ein Maass für die Stärke der Polarisation abgeben kann.

Der auf diesem Prinzip beruhende Apparat von Maccarrone besteht aus zwei horizontalen, ebenen, kreisrunden, mit zentrischen Löchern versehenen Messingplatten, die von zwei grösseren Platten von etwa dem doppelten Durchmesser durch Glassäulen getragen werden. Durch Gewinde auf den Metallstützen, welche diese grösseren Scheiben mit einander verbinden, kann der Abstand der kleineren Scheiben regulirt werden. Die oberste Platte trägt ein Messingrohr mit Torsionskopf, an welchem mittels bifilarer Aufhängung das bewegliche System befestigt ist. Letzteres, zwischen den kleineren Messingplatten hängend, besteht aus einem horizontalen Glasstäbchen, an dessen Enden die zu untersuchenden Dielektrika, z. B. zwei Glasplättchen, so befestigt werden, dass die Flächen vertikal stehen. Diesen gegenüber stehen zwei feste Plättchen gleicher Art, die isolirt an der oberen Deckplatte befestigt sind. Die durch die untere Kondensatorplatte hindurch geführte Achse des beweglichen Systems trägt einen Spiegel und ein Rähmchen aus Kupferblech, das zur Herstellung einer Dämpfung zwischen den Polen eines Elektromagnetes schwingt. Ein Glasgehäuse schützt vor Luftströmungen.

Es werden folgende an einem aperiodisch gedämpften Apparat gefundene Zahlen mitgetheilt. Nachdem der Kondensator geladen war, wurde beobachtet:

Zeit in Sekunden	0	5	10	15	20	25	30
Ablenkung in Skalentheilen	0	26	32	35	36,5	37	37.

Darauf wurde der Kondensator entladen und beobachtet:

Zeit in Sekunden	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Ablenkung in Skalentheilen	37	25	18	13	9	6	4	2,5	1,5	1	0,5.

Aus diesen Ablenkungen, die im Wesentlichen die Bewegungen eines aperiodisch gedämpften Systems wiedergeben, kann nach Ansicht des Referenten kein bindender Schluss auf das Vorhandensein von dielektrischer Viskosität gezogen werden.

Schliesslich kam die Ablenkung vollständig auf Null zurück; von einer dielektrischen Hysteresis war also nichts zu merken. *E. O.*

Die Zusammensetzung des elektrischen Funkens.

Von G. A. Hemsalech. *Journ. de phys.* **1.** *S. 76. 1902.*

Die von Hemsalech angewandte Methode besteht darin, dass er einen von 6 grossen Leydener Flaschen (0,033 Mikrofarad) erzeugten Funken spektral zerlegt und das Bild auf eine mit grosser Geschwindigkeit bewegte photographische Platte fallen lässt. Die Flaschen

wurden durch eine zwölfplattige Wimshurst'sche Maschine geladen. Der Apparat zur Erzeugung der für die photographische Platte nothwendigen grossen Geschwindigkeiten besteht aus einer kreisförmigen Stahlscheibe von 33 *cm* Durchmesser, die auf einer von einem Elektromotor angetriebenen Achse befestigt ist. Eine zweite Stahlscheibe von 22 *cm* Durchmesser wird konzentrisch auf die erste geschraubt; zwischen beiden ist ein runder photographischer Film von 30 *cm* Durchmesser festgeklemmt. Beide Scheiben befinden sich in einem allseitig geschlossenen, zylindrischen Gehäuse; durch eine kleine Oeffnung kann das Licht auf die photographische Platte fallen. Dem Film konnten auf diese Weise Geschwindigkeiten bis zu 100 *m* in der Sekunde ertheilt werden.

Mit diesem Apparate hat nun Hemsalech die Geschwindigkeiten bestimmt, mit denen die im elektrischen Funken enthaltenen Metalldämpfe von den Elektroden fortgeschleudert werden. Lässt man nämlich den spektral zerlegten Funken so auf die bewegte Platte fallen, dass die Richtung des Funkens zur Richtung der Fortbewegung des Films senkrecht steht, so kann man aus der veränderlichen Länge der Spektrallinien auf die Geschwindigkeit der glühenden Metalltheilchen schliessen. Trotz grosser Unsicherheit der Messungen ergiebt sich das Resultat, dass diese Geschwindigkeit um so grösser ist, je kleiner das Atomgewicht des Metalls ist. Für Aluminium wurde eine mittlere Geschwindigkeit von 1890 *m*, für Zink von 500 *m* in der Sekunde gefunden. Die Bilder lassen ausserdem einen Schluss darüber zu, wie ein elektrischer Funke zu Stande kommt: zuerst wird die Luft zwischen beiden Elektroden vom Entladefunken durchbrochen, darauf wird die Luft in der unmittelbaren Umgebung dieses Kanals leuchtend. Erst dann beginnt sich der Raum mit Metalldämpfen zu füllen; dies ist die sogenannte Aureole. Die nun folgenden oszillatorischen Entladungen nehmen ihren Weg durch die Metalldämpfe und erhitzen sie weiter. Schaltet man in den Entladungskreis eine Selbstinduktion ein, so wird der Entladevorgang verzögert; die erste Entladung in Luft erscheint schwächer, die späteren oszillatorischen von grösserer Intensität.

E. O.

Neu erschienene Bücher.

E. Hammer, Sechsstellige Tafel der Werthe $\log \frac{1+x}{1-x}$ für jeden Werth des Arguments $\log x$ von 3,0—10 bis 9,99000—10. Lex. 8°. IV, 73 S. Leipzig, B. G. Teubner 1902. Kart. 3,60 M.

Die Tafel wird besonders bei astronomischen und geodätischen Rechnungen mit Vortheil gebraucht werden. Sie ist nicht die erste Tafel, welche den $\log \frac{1+x}{1-x}$ als Funktion von $\log x$ giebt. In dem Logarithmenwerk von Rex ist eine solche mit 5 Stellen enthalten. Im Verein etwa mit der 6-stelligen Bremiker'schen Logarithmentafel würde also die neue Tafel überall da an Stelle der Rex'schen treten, wo 6-stellige Rechnung statt 5-stelliger erwünscht ist.

Die Logarithmen sind vom Verf. aus dem ihm überlassenen handschriftlichen Zahlenmaterial des Hrn. Rex berechnet. Andeutungen über die Art der Berechnung sind im Anhang beigefügt, ebenso ausführliche Erläuterungen über die Benutzung nebst Beispielen. Format und Einrichtung ist durchaus bequem, sodass jeder Rechner Ursache hat, die ihm vom Verf. geschaffene Erleichterung willkommen zu heissen. *Dst.*

F. Exner u. E. Haschek, Wellenlängen-Tabellen f. spektralanalytische Untersuchungen auf Grund der ultravioletten Funkenspektren der Elemente. 2 Thle. gr. 8°. IV, 83 u. 269 S. Wien, F. Deuticke 1902. 16,00 M.

C. L. Charlier, Die Mechanik des Himmels. Vorlesungen: 1. Bd. gr. 8°. VIII, 488 S. m. Fig. Leipzig, Veit & Co. 1902. 18,00 M.; geb. in Halbfrz. 20,50 M.

Namen- und Sach-Register.

Verlag von Julius Springer in Berlin N. — Druck von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin N.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mittheilungen aus dem gesammten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

E. Abbe in Jena, **Fr. Arzberger** in Wien, **S. Czapski** in Jena, **W. Foerster** in Berlin, **R. Fuess** in Berlin, **E. Hammer** in Stuttgart, **H. Kronecker** in Bern, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Landolt** in Berlin, **V. v. Lang** in Wien, **S. v. Merz** in München, **G. Neumayer** in Hamburg, **A. Raps** in Berlin, **J. A. Repsold** in Hamburg, **A. Rueprecht** in Wien, **A. Westphal** in Berlin.

Redaktion: Prof. Dr. **St. Lindeck** in Charlottenburg-Berlin.

Zweiundzwanzigster Jahrgang.

1902.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1902.

Hierzu: Beiblatt (Deutsche Mechaniker-Zeitung). — Nr. 22, 23, 24.

